الألف كتاب الثاني
٣٠٨

أندريه سكوت

# جوهر الطبيعة

ترجمة: هاشم أحمد محمد

مراجعة: علي يوسف علي



الهيئة المصرية العامة للكتاب



# الألف كتاب الثانى

## نافذة على الثقافة العالمية

# جوهر الطبيعة

تحرير

أندرو سكوت

ترجمة

هاشم أحمد محمد

مراجعة

م. على يوسف على



الهيئة المصرية العامة للكتاب

١٩٩٨

هذه هى الترجمة العربية الكاملة لكتاب

**BASIC NATURE**

**by**

ANDREW SCOTT

# الفهـــــرس

الموضوع | الصفحة

# مقـدمة الطبعة العربيـة

بسم الله والصلاة والسلام على رسول الله

القارىء الكريم

يدعوك مؤلف الكتاب الذى نضعه بين يديك الى أن تصحبه فى جولة أشبه بالجولات السياحية ، يطوف بك أرجاء العلم فى صورته الحديثة ، ويقف خلالها بك عند ستة عشر ملمحا من ملامحه . وهو فى خلال هذه النزهة لا يدخر وسعا فى تبسيط المفاهيم وسلاسة العرض ، خاصة وهو يعلم أنه يعرض لما قد يكون متناقضا مع بديهيات الانســـان التى درج عليها ، مما يجعل عملية التبسيط أشق ، لا يستطيعها الا من أوتى موهبة خاصة ، نرى أن للمؤلف منها حظاً وافراً .

لقد شهد العلم فى القرن العشرين ثلاث ثورات ، قلبت الكثير من مفاهيمه عن الكون والطبيعة . وليست الثورة العلمية كالفتح العلمى . فالأخير هو خطوة لها خطرها ، لكنها نتاج الســير فى درب مطــروق ومألوف ، كاكتشاف الصفات الوراثية والحلزون المــزدوج فى مجــال البيولوجيا . ولكن الثورة العلمية أمر آخر تماما ، فهى تغيير فى المفاهيم الأساسية والنظرة البديهية ، أو كما يســمى أحيانــاً : « تغيــير فى الباراديم » ، ويقصد بهذه الكلمة نمط التفكير فى حد ذاته .

الثورة الأولى هى النظرية الكمية ، ومؤسسها هو ماكس بلانك ، وقد وضعها فى بداية القرن العشرين ، وهى تغير من مفهومنا البديهى عن الطاقة ، كسيل متدفق من الموجات ، لتجعلها تتابعا من وحــدات مستقلة ، كشأن الجسيمات ، تسمى الوحدة منها « الكم **quantum** » ثم بين دى بروليى أن الجسيمات بدورها تتمتع بخصــائص موجية ، فكانت هذه الاكتشافات أول معول يهدم صرح التفكير التقليدى .

ثم تولى علماء فى العشرينات من هذا القرن تجديد شباب النظرية الكمية ، منهم بور وهايزنبرج ، وأعطوا عملهم اسمــا مستحــدثا ،

« ميكانيكا الكم » ، ثورة من داخل ثورة ، تعرضوا فيها الى تغـيير بديهيتين أخريين . البديهية الأولى هى النظرة التحـديدية للعـلم ، والاستعاضـة عنها بما يعرف بمبدأ « عدم اليقين » . أما البديهية الثانية فهو التمييز بين الفراغ الذى يوجد فيه كوننا ، وبين الخواء المطلق ، ففراغ كوننا لكس خواء ، بل يموج بتفاعلات عرضية تفعل بالكون الأعاجيب .

أما الثورة الثانية فهى النسبية لآينشتين ، وقد وضعت بدورها فى مطلع القرن ، بشقيها : الخاصة والعامة ، الأولى قلبت المفاهيم البديهية للانسـان عن علاقة المكان بالزمن ، بضمهما فى وحدة رباعية الأبعاد تعرف بالزمكان والثانية عن تصوره للفراغ الذى يشـغله كوننا ، من حيث كونه قابلا للطى والتكور ، تأثراً بجاذبية ما فيه من اجرام .

وسوف يوفى كتابنا هذه الموضوعات حقها ، أما الثورة الثالثـة فسوف يمر عليها مر الكرام ، لكونها خارجة عن نطاقه ، فهى تستحق كتابا خاصا ، قد يكون اللقاء القادم بيننا باذن الله . انها ما تعرف بثورة « الهيولية » Chaos التى شاعت ترجمتها خطأ فى العربية بالفوضى ، وهى آخر صيحة فى الثورات العلمية وأحدثها اذ انها ظهرت فى النصف الثانى من القرن . انها ببساطة ، التحليل العلمى لما كان يظن فوضويا وعشوائيا من ظواهر الطبيعة .

بعد ذلك ينبرى الكتاب لتوضيح المفاهيم الأساسية لعلمى الكيمياء والبيولوجيا ، فيعرض لما ينبغى لكل مثقف أن يلم به . واذا كانت المفاهيم لا تزال مستعصية على الفهم ، فاننا نحيل القارىء الكريم الى كتـاب « أفكار العلم العظيمة » ، من اصدارات هيئة الكتاب أيضا ، فهو من كتابنا هذا بمثابة المرحلة التمهيدية .

ونسأل الله أن نكون قد وفقنا الى اثراء المكتبة العربية بما يليق بها فى مواكبة الحركة العلمية كما ينبغى .

والسلام عليكم ورحمة الله وبركاته .

المراجـــع

مهندس / على يوسف على

# افتتاحيـــة

هذه نظرة عامة موجزة لأساسيات العلم ، الغرض منها نقل جوهر وجهة النظر العلمية عن الطبيعة بشكل موجز قدر الامكان ·

ربما يكون مصير كتب العلوم الميسرة فى غالب الأحـــوال بعد أن تشترى فى موجة من الحماس أن تهمل بعد ذلك بصورة مخيبة للآمال ، طالما وجدت هناك أفكار ومفاهيم صعبة دون أن تتناول بالشرح والتبسيط. ويهدف هذا الكتاب الى شرح أهم المفـــاهيم الأســـاسية عـــن العلم ، مـــع تقديم وصف موجز مفيد عن العلم فى حد ذاته ، وهو يعد قراءة ايضا لأى بحث متعمق لمن يرغبون الخوض فيه ، أو ربما تدعو الحاجة الى الاهتمام به . وبالنسبة لهؤلاء القراء الـــذين لديهم خلفيـــة عن الموضوعات المطروحة ، سوف يقدم لهم الكتاب موضوعات موجـــزة مفيدة ، وربما مفاهيم جديدة عن الموضوعات التى يعرفون عنها القدر القليل ·

وأملى أن يكون هذا الكتاب مفيدا ، وعلى وجه الخصوص لغير العلماء المهتمين بالعلوم ، وايضا لطلبة المدارس والجامعات .

ولا يستهدف هذا الكتاب شرح تاريخ العلوم ، كما لا يستهدف أيضا الدخول فى وجهات نظر متعمقة عن عملية العـــلم ، أو فلســـفته ، أو الدخول فى عقول وطرق العلماء الذين أوردنا نتائج أبحاثهم . فهـــذا الكتاب يبحث عن تقديم افكار ومعلومات بشكل موجز للأسس الجوهرية النظرية ، واكتشاف ما يعزز فهمنا منها عن الطبيعة .

وسوف أشجع القراء على قراءة الكتاب من البداية وحتى النهاية ، بدلا من الانتقال من فصل لآخر بشكل شارد .. وسوف أشجعهم أيضا على أن يجنبوا كل المعارف والتصورات السابقة عن العلم فى عقولهم بعض الوقت . فيجب أن يتيحوا للكتاب الفرصة ليقدم لهم وجهة نظر حية ، من خلال كشفه بشكل منتظم لأساسيات العـلم .

**المؤلف**

**أندرو سكوت**

الفصل الأول

# الزمـــــكان

## *SPACETIME*

---

هناك شيء غريب بالنسبة للمكان ، وهناك شيء غريب بالنسبة للزمان . هذا ما يخبرك عنه البرت آينشتين ، اذا قرأت تفسيره المبسط عن النسبية ، الذى نشر للمرة الأولى عام ١٩١٦ ، والذى تستطيع صفحاته أن تدخل صوت ذلك العبقرى الراحل فى عقلك عبر حاجز الزمان والمكان · الا أنه يمكننا فى هذا الفصل القصير أن نستكشف بعضا من أبعاد الموضوع الذى يصف غرابة الشيء الذى اكتشفه آينشتين فى تركيبة المكان والزمان . وقد أدى هذا الاكتشاف الى اتحاد هاتين الظاهرتين اللتين يبدو أنهما متمايزتان ، فى ذلك الهجين الذى نطلق عليه هذه الأيام الزمكان Spacetime .

ولا بد أن نقر من البداية أن خبرتنا المحدودة جداً عن المكان والزمان تصور لنا اعتقادات مضللة عنهما ، وهو ما يعتبر اعتقادات زائفة بغض النظر عن مدى الوضوح أو البداهة اللتين تبدوان عليها ، والمسبب الرئيسى لهذا الخداع هو ذلك البطء الشديد جدا للأحداث التى نراها ونعايشها بشكل مباشر ، بالمقارنة بالسرعات الرهيبة التى يمكن أن تصل اليها أشياء أخرى · فنحن نتلقى خبراتنا اليومية عن سيمفونية الكون من خلال الجانب البطيء من حركاته ، وهذا ما يعطى صورة مضللة تماما عن التناغم الحقيقى للكون .

فاذا ركبنا سيارة انطلقت بنا بسرعة ٥٠ ميلا فى الساعة ، وتخطتنا سيارة أخرى ، وبفرض أننا استطعنا حساب السرعة التى تخطتنا بها تلك السيارة ، فكانت ٣٠ ميلا فى الساعة ، أى أن سرعتها بالنسبة لنا

هى ٣٠ ميلا فى الساعة ، فنستطيع أن نقرر بثقة أن سرعتها بالنسبة للأرض كانت ٥٠ + ٣٠ ، أى ٨٠ ميلا فى الساعة ، لكنها فى الواقع ليست كذلك ! لقد كانت الاجابة قريبة جداً من هذه القيمة ، قريبة جدا بحيث لا نطمع فى اكتشاف الفرق . فالسرعة الحقيقية بالنسبة للأرض ستكون مختلفة قليلا عن السرعة التى توقعناها بشكل ساذج حينما أضفنا سرعة السيارة التى تخطتنا الى السرعة النسبية للأرض . ذلك أن السرعات ، أو بصورة أدق « متجهات السرعات velocities » لا تضاف فى الواقع الى بعضها ببساطة كهذا . لكننا خدعنا بهذا الاعتقاد ، لأنه عند هذه السرعات البطيئة تصبح الفروقات صغيرة جداً ، لكن لو كان باستطاعتنا التحرك بشكل أسرع بحيث نقترب من سرعة الضوء ، لبدا الفرق واضحا تماما ، ولاكتسبنا قدرة حدسية أفضل عن الطبيعة الحقيقية للمكان والزمان ، وأيضا الزمكان ، كلما قدنا سيارتنا أو سافرنا فى القطارات والطائرات . فعندما تبدأ الأشياء فى التحرك بالنسبة لبعضها البعض عند سرعات قريبة نسبيا من سرعة الضوء ، تحدث أشياء تتحدى فطرتنا السليمة .

كيف نستطيع أن نعلم وأن نحاول فهم هذه الأشياء الغريبة التى تحدث ، عندما نتحرك بسرعات قريبة من سرعة الضوء ؟ الخطوة الأولى فى هذا الفهم هى ادراك حقيقة اننا جميعا نتحرك بالفعل بسرعة الضوء بالنسبة لشيء نعايشه طوال الوقت — فنحن نتحرك بسرعة الضوء بالنسبة للضوء الذى يندفع من حولنا ! لذا يمكننا استخدام الضوء « كشيء » يتحرك أمامنا بسرعة الضوء ، أو نبدو نحن متحركين بالنسبة له بسرعة الضوء ، لاختبار فروضنا عن المكان والزمن والسرعات .

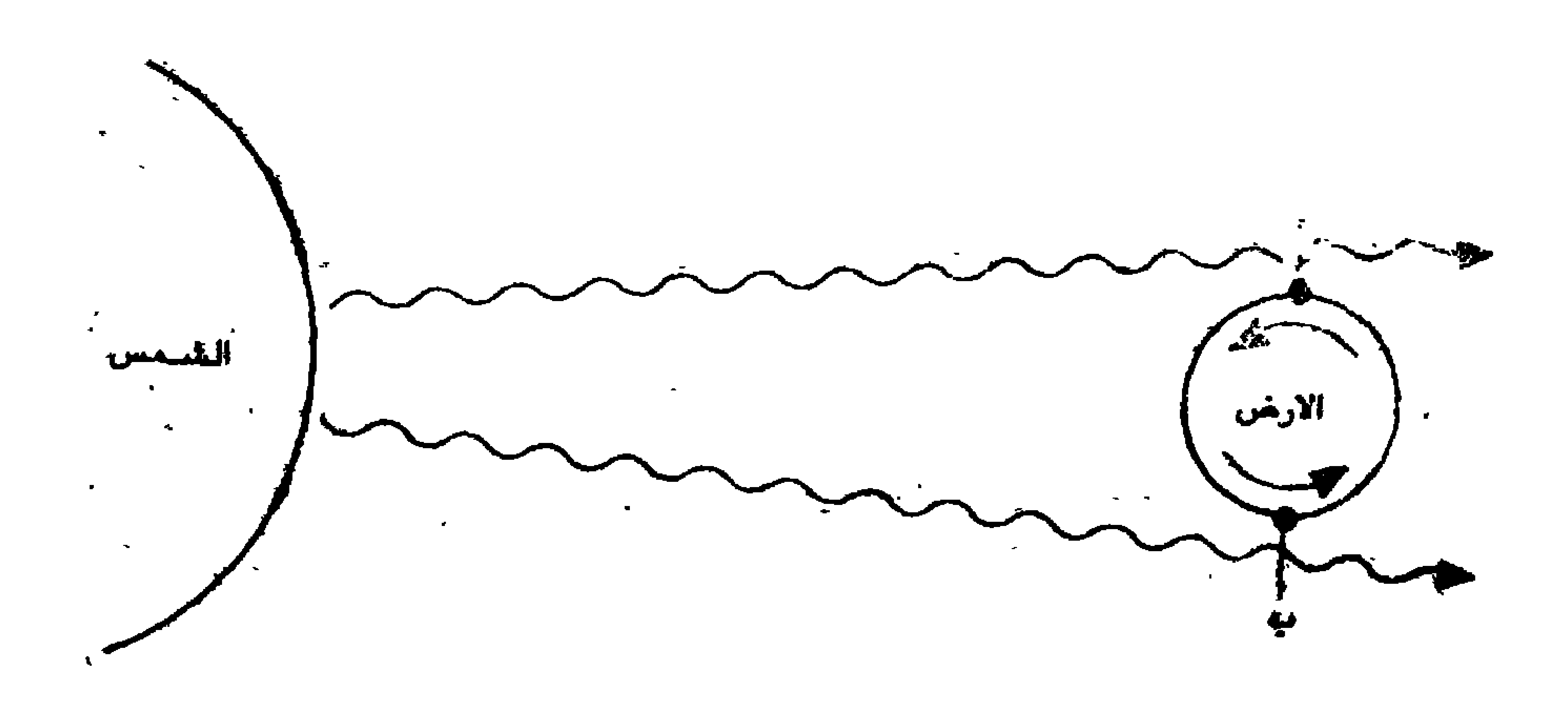
لنعد الآن الى سيارتنا المنطلقة بسرعة ٥٠ ميلا فى الساعة ، ولنشغل أنفسنا بقياس السرعة التى تتخطانا بها الأشياء الأخرى ، فسيارة تتخطانا بسرعة ٣٠ ميلا فى الساعة أسرع منا ، نتوقع أن تصبح سرعتها بالنسبة للأرض ٥٠ + ٣٠ ، أى ٨٠ ميلا فى الساعة . وبالنسبة لطائرة نفاثة تخطتنا بسرعة ٦٠٠ ميل فى الساعة ، نتوقع أن تصبح سرعتها بالنسبة للأرض ٦٥٠ ميلا فى الساعة ، ولو كان جهاز قياس السرعة التخيلى الذى لدينا من التعقيد بحيث يمكنه بدقة قياس سرعة قمر اصطناعى يشق عنان السماء فوق رؤوسنا بسرعة ٢٠٠٠٠ ميل فى الساعة بالنسبة لنا ، سنفترض أن سرعته ٢٠٠٥٠ ميلا فى الساعة بالنسبة للأرض ، وأخيرا ، فعندما نقيس السرعة التى يتخطانا بها ضوء غروب الشمس ، سوف نجده يندفع من حولنا بسرعة تصل ٦٧٠

مليون ميل فى الساعة ، ومن ثم فاننا نتوقع أن أى واحد يقف على قارعة الطريق ، سوف يجد أن سرعة الضوء المتحرك فى اتجاهه اكبر بـ ٥٠ ميلا ؛ ومع ذلك فالأمر هنا يختلف . فالأشخاص الواقفون للرصد على قارعة الطريق ، سوف يجدون الضوء يمر من أمامهم بنفس السرعة بالضبط التى يمر بها من أمامنا ! فكيف نستطيع سويا — فى حالة الضوء بالذات — أن نصل الى نفس الرقم بالضبط ، رغم كوننا فى سيارتنا ونتحرك مع الضوء بسرعة ٥٠ ميلا فى الساعة ؟ ماذا حدث للفرق ٥٠ ميلا فى الساعة فى هذه الحالة ؟ وأين ذهب ؟

قبل التعامل مع هذا اللغز يجب أن أنوه بالظاهرة التى تسببت فيه — وهو ثبات سرعة الضوء بغض النظر عن كيفية تحرك من يقوم بقياسه ، وهى ظاهرة حقيقية ومؤكدة تماما ، وليست ضربا من التخمينات ، انها الظاهرة التى قادت ألبرت آينشتين الى استنباط نظريته فى « النسبية » (١) ، والتى تأكدت تنبؤاتها بصورة تجريبية ، لكى تتغير وجهة نظرنا عن المكان والزمان بصورة جذرية . ان مجموعتين من الأجهزة قادرتان على قياس سرعة الضوء سوف تسجلان دائما نفس السرعة بالضبط ، حتى لو كانتا ، على سبيل المثال ، تقيسان سرعة الضوء الصادر من الشمس ، وهما فى مواجهة بعضهما البعض على خط الاستواء من الأرض ، بحيث انه بسبب دوران الأرض ، تتحرك احداهما نحو الشمس ، وتتحرك الأخرى بنفس السرعة بعيدا منها ( انظر شكل ١ — ١ ) . ومن الواضح ان هذا يتحدى توقعات فطرتنا السليمة ، التي تخبرنا أن سرعة الضوء التى سجلتها مجموعة الأجهزة الأولى ، يجب أن تكون اكبر من السرعة التى سجلتها مجموعة الأجهزة الأخرى . وفى كل القياسات الأخرى تكون النتائج متماثلة ، فسرعة الضوء واحدة دائما بغض النظر عن الحركة التى يتحركها جهاز القياس . وفى الواقع ، فان السرعة تتغير قليلا وتعتمد فى ذلك على « الوسط » الذى يمر الضوء خلاله — فالضوء يتحرك بصورة أسرع قليلا خلال الفضاء القريب من الخواء على سبيل المثال ، عن سرعته خلال الهواء . وبرغم هذا ، فان النقطة الأساسية المحيرة تظل هى ان سرعة الضوء خلال أى وسط معين ، تكون هى نفسها

عند قياسها بواسطة مجموعتين من الأجهزة المتحركة بالنسبة لبعضهما البعض .

ولم يكن البرت اينشتين هو أول من اكتشف لغز ثبات سرعة الضوء ، فقد تنبأ به الفيزيائى الاسكتلندى العظيم جيمس كلارك ماكسويل فى ستينيات القرن التاسع عشر ، حين توصل الى أن الضوء ينتقل خلال الفضاء كاضطراب موجى وبسرعة محددة ثابتة ، وقد توصل الى هذه النتيجة عن طريق الحسابات النظرية . وفى عام ١٨٨٧ ، تأكدت النتيجة النظرية من خلال تجربة قام بها الفيزيائى الألمانى / الأمريكى البرت ميكلسون Albert Michelson والكيميائى الأمريكى ادوارد مورلى Edward Morley . وقد كانت تجربة ميكلسون ــ مورلى الشهيرة هذه ، وهى التى بحثت عن دلالة لتأثر سرعة موجات الضوء المنتقلة فى اتجاهات مختلفة بحركة الأرض ، مشابهة فى الأساس لما هو مشروح سابقا ، مع خلاف فى التفاصيل التجريبية الدقيقة ؛ الا أن ميكلسون ومورلى لم يجدا اى دليل على اى اختلاف فى السرعة ، وبذلك أكدا على ثبات سرعة الضوء ، بغض النظر عن تحرك مصدر الضوء أو الراصدين له .




شكل (١)

وجد ان سرعة الضوء خلال اى وسط لا تتغير بالمرة عندما يقيسها عدة راصدين - بغض النظر عن كيفية تحركهم . فالراصدون عند نقطتى ا و ب على خط استواء الأرض الدوارة ، سوف يقيسون نفس السرعة للضوء الصادر من الشمس .

وبالرغم من أن آينشتين لم يكتشف ثبات سرعة الضوء ، الا أنه فكر بعمق فى اللغز ، وكان تفكيره بطريقة مختلفة تماما عن الطريقة التى فكر بها معظم الناس الآخرين . والغموض الرئيسى هو ماذا يحدث للفرق المتوقع فى سرعة الضوء ، عندما يقيس راصدون مثلنا فى سيارتنا وزملاؤنا على قارعة الطريق سرعة الضوء القادم من مصدر الشمس ؟ كيف يستطيع راصدان قياس سرعة الضوء ، وتكون النتيجة واحدة ، بالرغم من حقيقة أنهما يتحركان بالنسبة لأحدهما الآخر ؟ احد ردود الفعل الطبيعية لهذا ، هو القول بان هناك « شيئا عجيبا وغريبا عن الضوء » . وقد تقترح وجهة نظر اخرى بأن النتيجة يجب أن تكون خاطئة ، بسبب بعض الغلطات الغامضة أو الوهم . لكن آينشتين قبل النتيجة بمعناها الظاهرى ، بأن بدأ بفرض أن سرعة الضوء يجب أن تكون هى نفسها بالنسبة لكل الراصدين ، بغض النظر عن حركتهم ، واختبر الى أين سيقوده هذا الفرض . ومن خلال فرض أنه لا يوجد شىء « غريب عن الضوء » ، فقد اكتشف أن هناك شيئا غريبا بلا شك عن المكان الذى ينتقل خلاله الضوء ، والزمن الذى يقطعه خلال هذه الرحلة . « غريب » ، أى مقارنة بما نتوقعه على أساس تجربتنا اليومية .

ان لب المعضلة يكمن فى مدلول السرعة ، فكل السرعات تحدد على انها المسافة التى يتحركها شىء ما فى زمن معلوم . والمخرج من صعوباتنا هذه ، هو ادراك أن الشخصين اللذين يتحركان بالنسبة لبعضهما البعض ، يستطيعان قياس نفس القيمة لسرعة الضوء ، اذا كانت المسافة ( أى مقدار المكان ) والأزمنة التى يقيسونها متغيرة بعض الشىء . وعندما نضع ثقتنا فى ثبات سرعة الضوء ، فهذا يعنى أننا يجب أن نفقد ثقتنا فى ملاحظاتنا اليومية عن الزمان والمكان .

واتضح فى النهاية أن الشىء « العجيب » عن الزمان والمكان هو على هذه الصورة : تظهر المسافة اقصر عندما تقاس فى اتجاه الحركة ، اى عندما تبدأ الأشياء فى التحرك بالنسبة لنا ؛ بينما يظهر الزمن ابطأ للأشياء المتحركة بالنسبة لنا . وبمعنى آخر ، بينما تتحرك الأشياء بالنسبة لنا ، تبدو لنا وكأنها تعانى انكماشا فى المكان وتمددا فى الزمان .

ويستحق هذا مزيداً من التدبر . افترض أننا على متن مركبة فضائية ، ونستطيع أن نختبر بدقة الأحداث الجارية فى مركبة فضاء

أخرى تتحرك مبتعدة عنا بجزء ملموس من سرعة الضوء ، مستعينين ببعض أجهزة الاستشعار عن بعد . فسوف تدلنا أجهزتنا أن المركبة الفضائية أصبحت أقصر عما كانت عليه عندما قسناها من قبل ، أى عندما كانت مركبتينا واقفتين على سطح الأرض ؛ وسوف تدلنا أيضاً أن عقارب ساعة المركبة الفضائية الأخرى أصبحت تتحرك بصورة بطيئة ، كما هو الحال بالنسبة لكل الأحداث الأخرى التى تجرى على متنها ، مثل معدل التفاعلات الكيميائية ، وبالتالى عمليات الشيخوخة التى تتم فى داخل كل واحد على ظهر المركبة . هنالك نقول فى دهشة « آها ! إذن لذلك قاسوا نفس سرعة الضوء كما قسناها نحن » ، لقد تغيرت مسافاتهم وعقارب ساعتهم بطريقة ما ، بحيث جعلت النتائج متساوية ، فمكانهم وزمنهم ظهر أنه مختلف عن مكاننا وزمننا ؛ فمكانهم قد انكمش فى اتجاه حركتهم ، وزمانهم قد تمدد ، حتى جعل عقارب ساعاتهم تتحرك بصورة بطيئة ؛ ففى واقع الأمر ، يبدو أنهم فقدوا بعض المكان واكتسبوا بعض الزمن !

وقد يوقعنا هذا فى حيرة شديدة ، لكنه قد يجعلنا نعتقد على الأقل أنه يحل معضلتنا الأصلية ، معضلة كيف يمكننا أن نصل سويا الى قيمة واحدة لسرعة الضوء ، فنرى أن هذا يمكن أن يحدث ، لأنهم يستخدمون مسافات وساعات تختلف عن مسافاتنا وساعاتنا الميقاتية . وقد يستهوينا حتى القول بأنهم يستخدمون مسافات وساعات ميقاتية « خاطئة » الى حد ما ؛ ومع ذلك فهناك مصيدة تؤدى الى حيرة أخرى تنتظرنا . فمن وجهة نظر من هم على ظهر مركبة الفضاء الأخرى ، فاننا نحن أيضا نتحرك بالنسبة لهم . لذا فعندما يختبرون مسافاتنا وساعاتنا الميقاتية ، سيجدون بدورهم فمسافاتنا أقصر وساعاتنا أبطأ .
ومن أحد المعتقدات الأساسية فى نظرية آينشتين ( على الرغم من أن آينشتين بالتاكيد لم يكن أول من اقترحها(٢))،هي أن كل الحركات نسبية، فليس بامكان شخص أن يقرر أنه هو المتوقف ، وان الآخرين هم الذين يتحركون . فاذا كان أحد متحركا بالنسبة لنا ، حينئذ فاننا نتحرك بقدر مساو بالنسبة له ، ولا يوجد أحد فى موقع امتياز يمكنه من القول إنه فى حالة سكون فعلى . لذا فما يحدث للآخرين المتحركين بالنسبة لنا من الأشياء الغريبة ، يجب أن يكون متطابقا مع الأشياء الغريبة التى يرونها تحدث لنا ، بفرض دائما أن الحركة ثابتة فى السرعة فلا هى بالمتسارعة ولا بالمتباطئة ، ولا تغير من اتجاهها .

عند هذه المرحلة ، قد يستهوى شخص أن يهز رأسه معتقداً أشياء مثل « اذا رأيت أشخاصاً يتكمشون وعقارب ساعاتهم تبطيء فيجب

أن يروا مسافاتى تكبر وعقارب ساعتى تتحــرك أسرع . كيف يا ترى يستطيعون أن يروا نفس ما أراه ؟ . شىء لا يعقل ! » لكن للأسف اذا كان لا يعقل بالنسبة لنا ، فذلك لأنه ليس لدينا المنطق الفطرى لفهمه ، ولكنه برغم صعوبة تصديقه مازال حقيقة . لقد تأكدت هذه التأثيرات تماما بالتجربة »(٣) .

وقد نستحث على تقبل ذلك بالنظر الى تأثير مشابه — وان كــان مختلفا من منظور آخر — مألوف لنا تماما فى حياتنا اليومية لدرجة تقبلنا له كشىء بديهى . اذا كنت واقفا على مسافة ميل واحد منك ، فسـوف ابدو لك أصغر من طولى الحقيقى ، البالغ مائة وتسـعين سنتيمترا ؛ ومع ذلك ، فتبدو أنت بالنسبة لى أقصر طولا ، بنفس القدر الذى أبدو فيه أنا متضائلا من وجهة نظرك . وسوف يكون هذا التأثير محيرا لغير المتعود على تأثيرات المنظور ذى الثلاثة أبعاد ، بمثل حيرتنا ازاء التأثيرات التى ذكرناها آنفا ، على الأقل الى أن يعايشها بنفسه والى أن تصبح أمراً مألوفاً له . وهناك تمثيل بديل سنناقشه بعد قليل ، يقترب كثيراً من الموقف الحقيقى ، ولذا نأمل أن يكون أكثر اقناعا .

ويتلخص الموقف اذن فى أنه من خلال الثقة المطلقة فى الثبات الحقيقى لسرعة الضوء ، استطاع آينشتين أن يكتشف شيئاً جديراً بالملاحظة عن المكان والزمان : فالأشياء التى تتحرك بالنسبة لنا ، يظهر أنها تعانى انكماشاً فى المسافة فى اتجاه حركتها ، وتمدداً فى الزمن ، بحيث اننا عندما نقيس مسافاتهم تظهر وكأنها أقصر من مسافاتنا ، ونجد أن عقــارب ساعاتهم تتحرك بصورة أبطأ من ساعاتنا .

فاذا عدنا الى لغزنا الأصلى عن قياساتنا لسرعة الأشياء التى تتخطى سيارتنا عندما ننطلق بسرعة ٥٠ ميلا فى الســاعة بالنسبــة للأرض ] ، يجب أن نعترف بأننا كنا مخطئين عندما افترضنا أننا نستطيع أن نضيف بسذاجة سرعات بالطريقة التى بعثت على حيرتنا . فاذا كنا ننطلق بسيارتنا بسرعة ٥٠ ميلا فى الساعة ، وتخطانا شىء آخر مبتعداً عنا بسرعة ٣٠ ميلا فى الساعة ، فانه لا ينطلق بسرعــة ٨٠ ميلا فى الساعة بالنسبة للأرض ، ولكن أقل من هذا بفارق صغير ، لا يدركه الحس ، لأننا بالنسبة لراصد أرضى ، نستخدم أجهــزة قياس ذات مسافات منكمشة قليلا ، وساعات أبطأ قليلا ، وعلى ذلك ، فان قياساتنا خاطئة من وجهــة نظر أى شخص واقف على قارعــة الطريق يتابــع حركتنا ، ويزداد هذا التأثير عندما تزداد سرعة الأشياء التى تتخطانا ،

الى ان نختبر بانفسنا ويختبر زميلنا الواقف على قارعة الطريق حزمة عـــابرة من الضوء ، فهذا التأثير كاف لأن يبطل تماما تأثير سرعتنـــا ذات الـ ٥٠ ميلا فى الساعة بالنسبة للارض — فسيجـــد كلا الراصدين ان سرعة الضوء هى نفسها . لذا ، فعودة لتساؤلنا اين ذهبت الخمسين ميلا فى الساعة ؟ لقد تآكلت فى عملية انكماش المكـــان وتمدد الزمن ، الذى يلاحظه الراصدون فى أى شىء يتحرك بالنسبة لهم .

ولم يكن اكتشاف آينشتين بأننا نرى انكماش المكان وتمدد الزمـــن للأجسام المتحركة هـــو نهاية مغامرته النظرية ، لكنه مجـــرد البداية ، حيث قاده الى كشوفات غاية فى الأهمية ، كشف عنها بنفسه ، وكشف عنها اشخاص آخرون ، قاموا بتطوير اكتشافاته بعد ذلك . وسوف نناقش البعض منها فى فصول أخرى ، بينما يوجد واحد منها سنعرض له فى هذا الفصل ، ألا وهو الاكتشاف بأن المكان والزمن لا يمكن اعتبارهما ظاهرتين متمايزتين ، بل كوحدة مثيرة للاهتمام ، تعرف بالزمكان .

ولبحث الرابطة التى توحد بين الزمان والمكان فى كينونة واحدة هى الزمكان ، يجب أن نفكر بامعان أولا فى فكرتنا عن الزمان والمكان بصورة مستقلة ، فقد شق آينشتين طريقه بجراة خلال غموض المعانى بوضعه تعريفا مباشرا وبسيطا لكل من المكان والزمان : فالمكان هو ما نقيسه بأداة قياس ، والزمان هو ما نقيسه بواسطة ساعة . ويوصد هـــذا الوضوح بابه مجادلات فلسفية لا طائل من ورائها حول المعنيين ، لكن المكان والزمن لا يزالان محتاجين منا بعض التفكير .

يضع الفيزيائيون تمييزاً واضحاً بين الفضاء واللاشىء المطلق ، الفضاء بالنسبة لهم ليس «العدم» . انه ظاهرة متميزة عن العدم ، وبمعنى آخر متميز عن الغياب الكامل بالمرة لأى ظاهرة ، ويستطيع فيزيائى أن يصف الفضاء من خلال معادلات توضح كيف ينمو او ينكمش أو يغـــير خصائصه بطرق خفية أخرى . لذا يجب أن نتصور خواء الفضاء على انه شىء ، لا عدم ؛ كما يفترض بصورة تلقائية انه كذلك .

وبخلاف هذا التمايز ، فان ملاحظتنا اليومية عما نقصده بالفضاء ، كافية بصورة كاملة لتفهم ما سيأتى . فنحن ندرك جميعا فكرة أننا نشغل مكانا ذا ثلاثة أبعاد ، ويعنى هذا ببساطة أن لدينا الفرصة لأن نتحرك لأعلى ولأسفل ، وللأمام وللخلف ، ومن جانب لآخر . ويمكن أن نقـــول بلغة اصطلاحية ان هذه هى الدرجات الثلاث للحرية المتاحة لحركتنا .

وسوف تشير المناقشات الفنية أيضا الى أننا نستطيع أن نصف حركة أى شىء فى الفضاء بالنسبة لموضعها الأصلى أو بالنسبة لاحدى النقاط المرجعية ، من خلال استخدام ثلاثة أرقام فقط لحساب بعد الحركة التى يقطعها الجسم لأعلى أو لأسفل ، للأمام وللخلف . أو للجوانب ؛ ويناظر كل رقم من هذه الأرقام الثلاثة ، الحركة فى بعد واحد فقط من أبعاد المكان .

ويبدو من النظرة الأولى ، أن الزمن ظاهرة متميزة تماما عن المكان . وانه بالفعل ظاهرة مختلفة عن المكان ، رغم أن الاثنين يعتبران أكثر ارتباطا عما نتوقع ، فالزمن هو قياسنا لمعدل التغير فنحن نأخذ بعض التغيرات القياسية والمتكررة ، مثل حركة عقارب الساعة ، أو اهتزازة بلورة ، وبعد ذلك نقيس الزمن المقطوع بالنسبة للتغيرات الأخرى ، عن طريق نسبته الى مقدار فى التغير فى حركة عقارب ساعتنا، أو بلورتنا أو أى ما كان ، وحيث انه يمكن تمثيل قياسات الزمن برقم واحد يوضح الزمن المقطوع من بداية حدث لآخر ، فمن السهل اعتباره بعداً واحداً آخر .ونقدر أن الزمن والمكان لحدث يمكن تمييزه تماما ، من خلال اقتباس أربعة أرقام مناظرة لموقعه فى الأبعاد الثلاثة للفضاء وللبعد الواحد للزمن . لذا يمكن تحديد حركة أى شىء فى الفضاء والزمن بواسطة أربعة أرقام تشير الى الحركة فى هذه الأبعاد الأربعة من إحدى نقاط البدء ، بالضبط مثلما يمكن تحديد حركة أى شىء فى المكان من خلال اعطاء ثلاثة ارقام تصف الحركة خلال الأبعاد الثلاثة للمكان .

الا أن هناك الشىء الكثير الذى يضاف الى العلاقة بين الزمن والمكان ، أعمق من الفكرة البسيطة التى تقول بأن هناك ثلاثة أبعاد للمكان ، وبعداً واحداً للزمن ، توصف بها الحركة فى كل من الزمان والمكان. وفى الواقع ، فقد رأينا بالفعل علاقة أكثر قربا ، بالرغم من أن مدلولاتها الكاملة قد لا تكون قد وضحت حتى الآن ، فقد رأينا أن أى شىء يتحرك بالنسبة لنا ، يبدو أن بعضى المكان يأخذ فى التصاغر ( ينكمش ) ، بينما يأخذ الزمن فى الاستطالة ( يتمدد ) . ان ما نراه بالفعل ، هو أن المكان قد صار زمنا ؛ بما يوضح وحدة ومقدرة على التبادل بين الاثنين !! وهى فكرة لم تكن متصورة قبل أن يهيىء آينشتين الناس لقبولها ، بل ان آينشتين نفسه لم يقيمها بصورة كاملة ، الى أن أقنعة الرياضى الألمانى / الروسى هرمان منكوفسكى Hermann Minkowski . فقد كان منكوفسكى أحد أساتذة آينشتين ، حينما كان آينشتين طالبا فى معهد البوليتكنيك بزيورخ (٤) . وبعد أن علم الطالب بدرسه شيئا ، وبالتحديد

نظرية النسبية ، عاد المدرس ، وأوضح لتلميذه كيفية انهاء العمل بصورة صحيحة . وقد ابتدع منكوفسكى نظاماً هندسياً ، وضع فيه وحدة وقابلية تغير المكان والزمن فى الاطار الرياضى الصحيح ، وتحتاج هذه الوحدة والقابلية للتغير الى مزيد من الاستكشاف والتوضيح .

ونعود للحظة الى العالم البسيط للمكان ذى الثلاثة أبعاد ، ونفترض انك تنظر الى نموذج لمركبة فضاء ممسوكة أمامك بقبضة يديك ، فانت حين تنظر اليها من أحد الجوانب ، ترى انها طويلة تماما ، ورفيعة حيث انفها الحاد فى شمالك ، وذيلها فى يمينك . والآن أدرها قليلا ، لكى تحصل على منظر أفضل للذيل ، وعندما تديرها ، فان طولها ، أو بمعنى آخر امتدادها فى البعد الجانبى ، يبدو أنه يتلاشى . حاول ذلك مع قلم رصاص ، اذا كان هذا الشرح غير واضح ( أو استخدم نموذجا لمركبة فضائية اذا توفر لك ! ) . والآن فأنت تعرف ، أو تعتقد انك تعرف أن النموذج لا يحدث له أى نقصان حقيقى عندما تديره . فكل ما يحدث ، هو أن طوله « يدور » الى بعد آخر ، وهو البعد الأمامى والخلفى بالنسبة لك . الا أنه بالنسبة لك ، فمركبة الفضاء تنكمش فى أحد الأبعاد الجانبية وتتمدد ( تبدو أكبر ) فى البعد الخلفى والأمامى ، ويعتبر هذا التأثير من التأثيرات المألوفة لأى واحد يعيش فى عالم من ثلاثة ابعاد — فالشىء الذى يبدو طويلا ورفيعا من أحد الجوانب ، يمكن أن يظهر قصيرا وغليظا من الأمام والخلف ، لأنه كلما دار ، أو كلما درنا حوله فان طوله الأصلى يتحول الى بعد آخر عندما نراه من النقطة التى نقف عندها .

فنحن لدينا تمثيل مقنع جداً هنا بما سيحدث عندما تبدأ الأشياء فى التحرك بالنسبة لنا ، فيما عدا انه من أن يؤدى الانكماش فى طول أحد أبعاد المكان إلى تمدد بعد آخر من أبعاد المكان الثلاثة الأخرى ، فان الانكماش فى الطول ، يسبب تمدداً فى البعد الرابع الا وهو الزمن ؛ لذلك تعتبر أبعاد المكان الثلاثة والبعد الواحد للزمن فى الحقيقة أكثر ارتباطا أو اتصالا مما نعتقد . ويبدو أنه من الممكن لأحد المسافات فى المكان أن « تدار » متحولة الى طول فى الزمن . وتماما مثلما يمكن أن يدور طول مركبة فضائية بعيدا عنا الى بعد آخر من عالم الثلاثة ابعاد للمكان ، كذا فان بعد الطول لأى مركبة فضائية متحركة ، يمكن أن يتحول الى زمن فى العالم ذى الأربعة أبعاد ، والذى يجب أن نسميه الزمكان .

لذا ، فقد بدأنا ندرك لماذا اضطررنا الى اعتبار المكان والزمن متحدين الى حد ما فى العالم الغامض الرباعى الأبعاد للزمكان ، وهو غامض ومحير لنا ، لأننا لم نجرب تأثيرات وجوده فى عالمنا اليومى البطىء الحركة . ولكن لو تخيلنا انفسنا كمخلوقات مسطحة تماما ، ونعيش فى أرض مسطحة ، وغير قادرين على النظر لأعلى أو لأسفل ، فربما نفزع تماما ، اذا رفعنا أحد ، بحيث ينكشف لنا فجأة تأثيرات الدوران فى البعد الثالث فوقنا . وبالمثل ، يمكن أن نفزع عندما ندخل لأول مرة فى تأثيرات دوران بعض المكان فى البعد الرابع من الزمن — نفزع عندما نرى فجأة الساعات المتحركة تبطىء ، عندما تنكمش فى اتجاه حركتها . وتحدث هذه الحركات طوال الوقت ، الا أنها تحدث بامتداد طفيف بحيث لا نلحظه ابدا ( على الرغم من أن هذه « الدورانات » أكثر خفاء هندسيا الى حد كبير عن الدوران فى الثلاثة أبعاد والتى اعتدنا أن نراها ) . وعندما تجرى بسيارتك ، فانك تدور فى الزمكان بالنسبة للناس الواقفين فى الشارع . وبالنسبة لهم ، فان قليلا من طول سيارتك قد غاب عن النظر ، ويظهر فقط على أنه تطويل طفيف فى الزمن الذى تأخذه ساعتك فى تكة كل ثانية ؛ فاذا استطاعت سيارتك أن تبلغ قدراً من سرعة الضوء ، فسوف يصبح التأثير ملحوظاً .

اننا نعيش فى عالم من الزمن والمكان ، عالم زمكان يمثل توحده حلبة رباعية الأبعاد ، حلبة حقيقية قابلة للاختبار ، بالرغم من أنها من المؤكد غير واضحة لنا . فنحن لا نستطيع أن نتصورها ، لأننا لا نتعامل معها بشكل مباشر ، ولذا لا يجب أن نكون قاسين مع أنفسنا ، اذا ما وجدناها صعبة الفهم ، ولكن يجب الا نخطىء بنبذ ظاهرة ببساطة ، لأننا وجدنا أنفسنا غير قادرين على تصورها . فالزمكان ليس مجرد فضاء ، فانه الساحة الحقيقية التى ولدنا فيها ، والتى سنعيش فيها أبدنا .

الفصل الثانى

# الكتـــــلة

***MASS***

---

ماذا يوجد فى كوننا بخلاف المكان والزمان — الزمــكان — الذى يعمل كالميدان الذى يمكن أن تقع به الأحداث ؟ والاجابة الواضحة على ذلك هى انه توجد أشياء : فهناك ما يسمى بالأشياء « المادية » ، كالنجوم والكواكب والنبات والناس والصخور والأحجار ، تتكون جميعها ممــا نطلق عليه « مادة » . وهناك أيضا أشياء أخرى ليس من الســـهل ملاحظتها أو فهمها دون ادراك واع لها ، مثل الضوء ، بينما الأشياء الأكثر وضوحا التى تشغل ساحة الزمكان ، هى الأشيـــاء الماديـــة المصنوعة من المادة ؛ ولكن ماذا نقصد بكلمة « مادة » ؟

قد يدلنا معجم مصطلحات علمية على أن المادة هى الاسم الــذى يعطى لأى شيء له خاصية « الكتلة » وله أيضا بعض الامتداد فى المكان والزمان . وتوضح النقطة الأخيرة ، أن المادة يجب أن يتوفر بها بعض الحجم ، ويجب أن تدوم لقدر معين من الزمان ، ولكن ما هذه الظاهرة التى تسمى كتلة ؟ ونعود مرة أخرى الى معجم مصطلحاتنا العلميـــة لمزيد من الايضاح ، ونكتشف أن الكتلة هى الاسم الذى يعــطى لقياس مقدار الجهد المطلوب لتغيير حركة جسم ، أو بمعنى آخر ، لجعلــه يتسارع ، أى يكتسب عجلة acceleration أو يتباطأ ، أى يفقد عجلة . ومن الناحية الاصطلاحية ، تعتبر كتلة أى جسم هى قياس مقـــدار « القوة » المطلوبة لتغيير حركته بمقـــدار معين ؛ لذا فهى مقيـــاس مقاومةالجسم للحركة لأن « مقدار القوة » يمكن أن تعنى جوازا « مقدار الدفع » ومع ذلك فسوف نتاقش مفهوم القوة بالتفصيل فى الفصل الثالث.

ومن ثم فالأشياء التى تحتاج الى دفع ( أو جذب ) من بعض القوى لكى تغير حركتها يقال انها تحتوى على كتلة ، حيث تتناسب الكتلة ( التى تقاس بالكيلوجرامات ) مع القوة المطلوبة لاحداث قدر معين من التغير فى الحركة . ونحن نعرف العديد من الأشياء التى تتطلب دفعا أو جذبا لكى تغير حركتها ، ففى الواقع يبدو من الصعب الاعتقاد فى وجود أى شيء لا يتطلب دفعا أو جذبا ؛ ولكن لماذا يتطلب الشيء دفعا أو جذبا ؟ فهذا لغز ، وهو فى الحقيقة لغز يعرف بلغز أصل القصور الذاتى inertia ، وبالنسبة للقصور الذاتى ، فهو الاسم الذى يطلق على ميل الأجسام ذات الكتلة ، لعدم التعاجل أو لعدم التباطؤ ، الا اذا وقعت تحت تأثير قوة ما . وبطبيعة الحال ، تنحو الأشياء المتحركة فى الحياة اليومية نحو التباطؤ ، ويرجع السبب فى ذلك الى قوى الاحتكاك التى تجعلها تميل نحو التوقف . وفى العالم الخالى من الاحتكاك ، تستطيع سيارتنا أن تجرى على الطرق المستوية بلا مقاومة الى ما شاء الله .

ومع ذلك ، يعتبر القصور الذاتى سمة واحدة فقط من سمات الظاهرة التى نطلق عليها كتلة . ويشتمل الوجه الآخر على القوة المعروفة بالجاذبية ، والتى من خلالها يتجاذب جسمان نحو بعضهما البعض . ويخبرنا التعريف الكامل لمعجم المصطلحات العلمية عن الكتلة ، بأنها ليست فقط قياس مقدار القوة المطلوبة لتغيير حركة جسم ، لكنها أيضا قياس للاسهام الذى يصنعه جسم مع القوة الجذبية للتجاذب بين نفسه وأى جسم آخر . وتحدد كتلة جسم مقدار القوة التى ستشترك بها الجاذبية معه . فالمقاومة للتغير فى الحركة وتولد الجاذبية، هما الظاهرتان المصاحبتان للكتلة .

وهذا يضعنا أمام لغز ثان : لماذا وكيف تسبب الأجسام ذات الكتل قوة الشد الجذبى التى تحيط بها ؟ غير أن الألغاز لا تنتهى عند هذا الحد . فالكشف عن التعريفات المعجمية للكتلة ، سيقودنا بسرعة الى تعريفات فرعية تحت عنوان « كتلة السكون rest mass » و « الكتلة النسبوية relativistic mass » (١) . ما هذان النوعان من الكتل ؟ قد يدلنا المعجم على أن كتلة السكون هى كتلة الأجسام وهى فى حالة السكون ، والتى تبدو معقولة بشكل كاف ، فى حين أن الكتلة النسبوية لجسم ، هى كتلته الكلية أثناء حركته ، تلك الكتلة التى تعتبر أكبر من كتلة سكون الجسم . ما هذه الظاهرة الغريبة ؟ كيف تكتسب الأجسام كتلة بمجرد أن تتحرك ؟

لا بد لنا من أن نسبر أغوار هذه الألغاز جميعها ، فى حين أن اللغز الخاص بالجاذبية سوف نفرد له فصلا خاصا ( الفصل الرابع ) . الا انه قبل البدء فى الاستكشاف ، يجب أن نميز بين مفهوم الكتلة ، والمفهوم المتداول الأكثر ارتباطا بها وهو الوزن . وفى لغة العلم ، ليست الكتله شيئا مماثلا للوزن ، على الرغم من انه توجد حالات ، يبدوان وكأنهما وجهان لعملة واحدة . فنحن نزن شيئاً ما بوضعه فى ميزان ، ونقيس مقدار القوة التى تجذبه نحو الأرض بفعل جاذبية الأرض . فالوزن ما هو الا قياس القوة التى ينجذب بها الجسم لأسفل . وتعتمد القوة بشكل كامل على كتلة الجسم — فكلما كانت كتلة الجسم اكبر ، ازداد وزنه — لكن المفهومين مختلفان . ولكى نعطى فكرة عن الاختلاف بينهما ، تخيل اننا نقلنا الجسم والميزان الى سطح القمر ، حيث تكون الجاذبية هناك اضعف ( تبلغ مقدار قوة الجاذبية على سطح القمر سدس مقدار الجاذبية على سطح الأرض ) . فوزن الجسم سيكون أقل منه على الأرض مع أن كتلته تظل ثابتة بلا تغير . فأى كتلة هى القياس الأساسى لميل أى جسم لمقاومة التغير فى حركته وتوليد جاذبيته . والوزن هو كمية أكثر تغييراً ، حيث يتغير من مكان لآخر ، تبعا لقوة الجاذبية السائدة فى كل مكان ، ومن السهل اللبس بين الكتلة والوزن ، نظرا لأنهما يقدران بنفس الوحدات . فعلى سطح الأرض ، يكون وزن كتلة مقدارها كيلوجرام واحد ، هو كيلوجرام واحد أيضاً ، بينما ستعطى نفس كتلة الكيلوجرام الواحد على سطح القمر وزنا اقل بدرجة ملحوظة .

ونعود الى ألغازنا ، ونبدأ أولا بالتمييز بين كتلة الجسم فى حالة السكون وكتلته النسبوية . ما هو مصدر الاختلاف بين كتلة جسم فى حالة سكون وكتلته وهو متحرك ؟ سوف ننظر هنا الى أحد الاكتشافات الأخرى لألبرت آينشتين . فعندما كان آينشتين يطور نظرياته الخاصة عن المكان والزمن ، والتى ناقشناها فى الفصل الأول ، اكتشف أنه لا يوجد شىء غريب وعجيب فقط حول المكان والزمان ، بل يوجد أيضا شىء غريب وعجيب عن الكتلة . والغرابة هنا تأتى مرة أخرى من المقارنة بتوقعاتنا اليومية .

وكان أحد الايحاءات الأساسية لتنظير آينشتين ، هو أن سرعة الضوء ليست فقط نفس الشئ بالنسبة لكل واحد ، لكنها أقصى ما يمكن من سرعة يمكن أن يكتسبها اى شىء فى اى وقت ، وتمثل سرعة الضوء حداً طبيعياً للسرعة يبدو أنه لا يمكن تخطيه ، والذى يجب أن يمتثل

له أى شيء فى الكون . ويبعث هذا على تعارض مهم مع الفيزياء الكلاسيكية الحالية ، المختصة بالظاهرة المعروفة بـ ( كمية التحرك ) . فاذا ضربت كتلة جسم متحرك ( مقدرة بالكيلوجرامات ) فى سرعته ( التى تقدر بالأمتار فى الثانية ) ، فالكمية الناتجة تعرف بـ ( كمية تحرك الجسم ) . فاذا تعرض الجسم المتحرك الى دفع آخر ، أو بمعنى آخر ، تعرض الى قوة أخرى فى اتجاه حركته ، ستخبرنا الفيزياء الكلاسيكية حينئذ بأن كمية تحركه يجب أن تزداد فى تناسب طردى مع القوة . وفى عالمنا اليومى ، يمكن أن تعزى هذه الزيادة فى كمية التحرك الى الزيادة فى سرعة الجسم الذى حدث له الدفع . ولكن افترض اننا أعطينا الجسم دفعات متكررة ، الى أن يصبح قريبا من سرعة الضوء . فبما أن سرعة الضوء هى الحاجز الذى لا تستطيع سرعة الجسم أن تخترقه ، فيجب أن ينتج عن الدفعات المتعاقبة عجلات متناقصة بشكل منتظم ، لدرجة أنه على الرغم من الدفعات العديدة التى تعطى للجسم ، فانه لا يستطيع مطلقا أن يخترق حاجز سرعة الضوء ، لذا ، فنحن أمام معضلة : كيف يمكن زيادة كمية التحرك بنفس المقدار مع كل دفع ، اذا كانت الزيادة الناتجة فى السرعة ، ومن ثم السرعة فى أى اتجاه ، تتناقص بصورة منتظمة ؟ ولما كانت كمية التحرك هى الكتلة مضروبة فى السرعة ، فان أحد الحلول الممكنة ، هو افتراض أنه كلما ازدادت سرعة الأشياء ، يجب أن تزداد كتلتها ، وسوف يسمح هذا بزيادة فى الكتلة لتكون بديلا عن تناقص السرعة المتزايد مع كل دفع . وبالرغم من غرابتها ، الا أنها الاجابة الحقيقية التى جرى اثباتها من خلال التجارب باستخدام الجسيمات دون الذرية سريعة الحركة . وتصبح الأجسام فى الحقيقة أكثر كتلة ، ونتيجة لذلك تزداد ثقلا عندما تتحرك بسرعة كبيرة . وهذا التأثير فى السرعات المنخفضة التى نراها يوميا غير محسوس ، لكنه يبدأ فى التزايد بانتظام عندما تقترب السرعات من سرعة الضوء ، الى أن يصبح هو التأثير المسيطر عند محاولة دفع الأشياء بشكل أسرع ، واذا حاول أحد مهندسى الفضاء كسر حاجز الضوء ، فسوف يواجه بهذا التأثير المحبط، الذى يبدو أنه يعمل ضد أقصى جهودهم : فكلما ازدادت قوة صاروخهم ، يصبح أثقل مع تزايد السرعة ، ويخيب أملهم للأبد فى الوصول الى سرعة الضوء .

وهكذا ، فكل جسم ذى كتلة له كتلة سكون أساسية ، تلك الكتلة التى يكتسبها عندما يكون فى حالة سكون بالنسبة لنا ، فى حين توجد سلسلة لا متناهية من الكتل النسبوية الاكبر ، حيث يتحدد

الاختلاف بين الكتلتين من خلال السرعة التى يتحرك بها الجسم بالنسبة لنا . وقبل أن تستمر ، ذكر نفسك بما تغنيه حقيقة هذا الاختلاف فى الكتلة : فلما كانت السمة المزدوجة للظاهرة ، التى نطلق عليها كتلة ، هى مقاومتها للتغير فى الحركة ( خاصية القصور الذاتى ) وقدرتها على خلق قوة جذبية ، فانه عندما تتزايد سرعة الأجسام ، تجد أنها تحتاج الى مزيد من الدفع لتغير حركتها بمقدار معين وتولد قوة أكبر من الشد الجذبى على الأشياء حولها .

كانت الألغاز الأخرى التى تأملنا فيها من قبل تتعلق بالخواص المزدوجة للكتلة . وهنا نتساءل ، لماذا يجب أن تقاوم أجسام معينة ( أى الأجسام ذات الكتلة ) تغيير حركتها ؟ ما الذى يجعلها تفعل ذلك ؟ ولماذا وكيف تسبب هذه الأجسام حدوث قوة الشد الجذبية التى تحيط بها ؟

وفكر العلماء فى اللغز الأول لعدة قرون ، ومازالوا يفكرون . انه لغز مصدر القصور الذاتى ، والقصور الذاتى هو الاسم الذى يعطى لميل الأجسام ذات الكتل لمقاومة التغيرات فى حركتها . كيف ولماذا تحدث هذه المقاومة ؟ يعتبر الفيزيائيون المعاصرون اكثر سعادة بفهمهم لكيفية بدء تحرك الأجسام ، أو توقفها أو تغيير حركتها ؛ فى حين أن العديد منهم ليسوا سعداء على الاطلاق بفهمهم لكيفية مقاومة هذه الأشياء للتغير وميلها للاحتفاظ بأى حركة مهما كانت لديها . ويبدو بالنسبة للبعض أنه سؤال غير مجد ، على الرغم من أن احدى الاجابات المحتملة قد تكون مبهرة .

قد نعيش فى كون يعتبر على نطاق واسع ، متماثلا تماماً من ناحية توزيع المادة ، بمعنى أن كل مكان محاط بنفس المقدار من المادة ، مثل أى مكان آخر . وقد يبدو من الوهلة الأولى هذا مستحيلا ، حيث يبدو الكون المتماثل ، وكأنه يشتمل على كون كروى ، تكون فيه بعض الأماكن أقرب من « حافة » الكرة عن أماكن اخرى ، الا أن هذه قد تكون فكرة مبسطة تماما ، بسبب خبرتنا الساذجة عن المكان الثلاثى الأبعاد . ولكى نعرف مقدار خديعتنا ، تخيل أننا مخلوقات مسطحة تعيش فوق سطح كوكب أملس تماما ، ولا ندرك سوى بعدين فقط لذلك السطح المستوى ، فسوف نبدو وكأنما الأمر ملتبس علينا ، عندما نكتشف أننا عندما نسير فى اتجاه واحد ، سنجد أنفسنا فى النهاية وقد عدنا من حيث ابتدأنا ، وسوف نسأل كيف يمكن أن يحدث

هذا ! وسوف تتملكنا الدهشة عندما نعلم أن عالمنا ليس مسطحا تماماً ، لكنه ينحنى على نفسه للخلف قليلا نحو البعد الثالث ، وأن هذا التكور يعنى ان اية نقطة على سطح عالمنا ، تحاط بقدر متساو من بقية عالمنا فى جميع الاتجاهات . فلا توجد حواف — فأينما كنا ، يكون مكاننا مكافئا لأى مكان آخر ، من ناحية القدر من عالمنا الذى يحيط بنا .

وبطبيعة الحال ، فلسنا مخلوقات ثنائية الأبعاد ، فنحن مخلوقات شديدة البأس ، ليست لدينا اية صعوبة فى معرفة كيف أن مخلوقاً ثنائى الأبعاد على سطح كرة ضخمة ، قد لا يفهم كيف يمكن لهذا السطح أن ينحنى على نفسه من خلال بعد آخر . لذا يجب الا يبدو علينا الاضطراب عندما نعلم أن فضاءنا الثلاثى الأبعاد ( الزمكان ذو الأربعة ابعاد ) ، قد ينحنى على نفسه من خلال بعد أو أبعاد لا تظهر لنا ، وتجعلنا محاطين من جميع الجهات بقدر متساو من الكون ، وبعدد متساو من المجرات والنجوم ، بغض النظر عن الموقع الذى نقف عليه فى اى لحظة .

دعنا نقبل هذا الاحتمال لبرهة صغيرة ، ونتأمل بعد ذلك تأثير قوة الجاذبية التى تولدها كل هذه المجرات ونجومها ، وسوف يكون هذا التأثير ، فى المتوسط متساويا فى جميع الاتجاهات ، لذا فبالاضافة لما نشعر به أسفلنا مباشرة من قوة جذب غير متوازن ، لكونه فى اتجاه الأرض ، قد يوجد هناك شد جذبى علينا من بقية الكون ، يكون متساويا من جميع الاتجاهات ، ولكى نغير حركتنا ، فسوف نحتاج الى أن نتصارع مع كل هذه القوى الجذبية المحيطة بنا — اى سوف نحتاج الى أن نتصارع مع الجذب القادم من بقية الكون ! كذا ، وفقا لهذا المنطق ، يكون مصدر القصور الذاتى . فالأجسام ذات الكتلة تميل لمقاومة التغيرات فى حركتها ، وبذلك تميل الى الاحتفاظ بأية صورة من صور الحركة التى تمتلكها فى الأصل ، لأنها لكى تزداد عجلتها أو تتناقص ، يجب أن تواجه كافة القوى الجذبية للنجوم والمجرات التى تحيط بها بمقادير متساوية من جميع الاتجاهات ، والمرة التالية التى تنطلق فيها بسرعة بسيارتك ، وتشعر وكانك منضغط للخلف فى مقعدك ، تفكر فى امكانية أن ما يجذبك للخلف ، هو بقية للكون بأكمله — فالتجمع الذى لا يحصى عدده من المجرات ونجومها ، والتى تمتد اليها جميعا أصابع الجاذبية ، تحاول أن تجعلك أيها الشىء الصغير فى مكانك اينما كنت !

هـذا الاقتراح المثيـر عـن مصـدر القصـور الذاتى ، هـو مجـرد اقتراح (٢) ، وبرغم استناده الى بعض الأدلة ، يظل مسألـة جدلية . وأنه برغم ذلك يعتبر أفضل فكرة استطاع الفيزيائيون التوصل اليها حتى الآن ؛ ومثل كل الأفكار العظيمة فى العلم ، فهى تبسط وجهة نظرنا عن الطبيعة . فهى تعنى أنه بدلا من التساؤل ، لماذا تصاحب بعض الأجسام ، تلك الأجسام التى نقول ان لها كتلة ، بخاصية القصور الذاتى وكذا الميل نحو توليد الجاذبية ، فنحن نحتاج ببساطة لأن نفكر فى ميلها نحو توليد الجاذبية ، لأن الشد الجذبى لكل الأجسام الأخرى هو ما يجعل أى جسم يمتلك قصوراً ذاتياً . وعلى ذلك ، فلا يزال لدينا لغز واحد باق عن الكتلة ( على الأقل واحد من الألغاز التى اخترت أن أوجه اليها الانتباه ) لغز فى سبب وكيفية توليد الأجسام ذات الكتل قوة الجاذبية ، وما هو بالضبط كنه الجاذبية . وسـوف يكشف لنـا التفكير فى اجابات محتملة أيضا الكثير عن حقيقة الكتلة ، لكن هـذا اللغز سوف نتحدث عنه فى الفصل الرابع .

الفصل الثالث

# القـــوى

## *FORCES*

اننا محاطون بأشياء تتحرك وتتغير ، بل واننا فى الواقع نتكون من أشياء تتحرك وتتغير . فكل الأشياء بدءا من المجرات ونجومها الى أدق الجسيمات دون الذرية الموجودة بداخل أجسامنا ، تتحرك وتشارك فى احداث التغيرات . وتحدث الحركة والتغيرات ، لأنه يوجد ما يسميه الفيزيائيون بالـ « القوى » تمارس نشاطها فى الكون ، تلك القوى التى تولد فى غالب الأوقات حركات دفع وجذب بسيطة ، مثل ذلك الدفع والجذب المصاحب لكلمة قوة بمعناها الدارج ، ولكنه يمكن أن يحدث أيضا تأثيرات أخرى أكثر غموضا .

ويفضل الفيزيائيون غالبا استخدام كلمة « تفاعل interaction » بدلا من كلمة قوة حينما يشيرون ، على سبيل المثال الى ، « التفاعل التجاذبى gravitational interaction » بدلا من قوة التجاذب gravitational force . ويؤكد استخدام مصطلح تفاعل على أن بعض تأثيرات القوي تعتبر أكثر غموضا عن مجرد كونها حركات دفع وجذب ؛ ويؤكد أيضا على نقطة أنه كلما أحدث أحد الأجسام قوة فى جسم آخر ، يولد الجسم الآخر بدوره قوة مساوية ومضادة فى الاتجاه فى الجسم الأول . ويعرف هذا التأثير بقانون اسحق نيوتن Isac Newten الذى ينص على « ان لكل فعل رد فعل مساو له فى المقدار ومضاد له فى الاتجاه » ، والذى يعنى ببساطة أن الأشياء التى نسميها قوى ، تحدث نتيجة التفاعلات المتبادلة بين بعض الأجسام .

ومن الوهلة الأولى ، يبدو أن العديد من القوى المختلفة تعمل فى العالم والكون بشكل عام ، فهناك قوة الرياح وقوة البحر ، والقوة الجبارة للهزات الأرضية والبراكين ، وقوة المياه المتساقطة من أعالى الجبال فى صورة شلالات ، وقوة النيازك التى تصطدم بالأرض ، والقوة الكامنة فى الماء المتجمد الذى يحدث الشروخ فى الصخور الصلبة . وهناك قوة داخل عضلات الكائنات الحية ، تجعلها متماسكة ضد قوة الجاذبية الأرضية ، وتجعلها تتحرك فى كل اتجاه وتمكنها من رفع الأشياء ودفعها . وهناك القوة المتفجرة للبترول ، التى تؤدى الى تحريك مكابس محركات السيارات وتجبر السيارات على الحركة ، وهناك قوة الكهرباء ، التى تجعل فتيلة اللمبة الكهربية تتوهج ، وتجعل الأجهزة الكهربية تعمل ، وهناك القوة المغنطيسية ، التى تجعل بعض المعادن تنجذب نحو المغنطيس ، وهناك قوة الموجات الصوتية التى تصدر ذبذبات فى أذنيك ... ولا تزال القائمة حافلة بالقوى ، لكنها تنطوى على بساطة عجيبة . فعندما تدرس مجموعة من القوى المتنوعة بشكل مفصل ، سوف تكتشف أن هناك وحدة كامنة فى هذا التنوع . وقد تكتشف أن ثمة عددا قليلا من القوى ، لكنها اذ تعمل فى حالات مختلفة ، تخلق وهما بأن هناك العديد من القوى المختلفة .

وهناك فى الواقع اربع قوى لا غير ، هى المسئولة عن كل عمليات الدفع والجذب والتغير التى توجد فى الطبيعة . وتسمى هذه القوى بالـ ( القوى الأساسية ) الأربع وهى : قوة الجاذبية gravity ، وقوة الكهرومغنطيسية electromagnetic force والقوة النووية الضعيفة weak nuclear force والقوة النووية القوية strong nuclear force .

وتعتبر الجاذبية القوة الأساسية التى نعرفها جميعا ، فهى القوة التى تجذب جميع الأجسام ذات الكتل أحدها نحو الآخر ، فهى تجذب التفاح نحو الأرض ، وتجذب الأرض نحو القمر ، والكواكب نحو نجومها ، والنجوم نحو بعضها البعض داخل المجرات ، والحيز الذى تعمل من خلاله قوة ما ، كقوة الجاذبية ، يقال انه مشغول بمجال قوة field بحيث يكون كل جسم ذى كتلة مصحوبا بمجاله المحيط من القوة الجذبية . الا انك ستكتشف فى الفصل السابع ، أن وجهة نظر العلماء عن طبيعة مجالات القوى هذه تعتبر أكثر غموضا مما هو مفترض فى البداية .

والقوة الأساسية الثانية المألوفة لنا تماما هى قوة الكهرومغنطيسية ، وهى المسئولة عن كل من التأثيرات الكهربية والمغنطيسية . فبعض

الأجسام ، والتى هى فى النهاية بعض الجسيمات دون الذرية ، كالبروتونات والالكترونات المعروفة داخل الذرات ، تتدافع وتتجاذب فى وجود بعضها البعض ، بطريقة تنم على أنها تحت تأثير قوى مختلفة تماما عن القوة التى تعمل بها الجاذبية . لسبب أساسى ، هو أن هذه القوة يمكن أن تعمل على تباعد الأجسام عن بعضها البعض ، وبمعنى آخر ، تعمل كقوة تنافر ، فى حين لا تكون الجاذبية الا قوة جاذبية تعمل على جذب الأجسام نحو بعضها البعض . ويقال للأجسام التى تحدث وتستجيب لهذه القوة ، انها تقوم بذلك ، لأنها تحمل قدراً معينا من « شحنة كهربية » ، مثلما تمتلك الأجسام التى تحدث وتستجيب للجاذبية كتلا ( والتى يمكن أن نطلق عليها « شحنة كتلية » اذا شئنا ) ولا يوجد من يعرف على وجه اليقين كنه الشحنة الكهربية — فهى مجرد اسم اعطى لخاصية الأجسام التى تولد وتستجيب للقوة المعروفة بالقوة الكهربية .

وكما يعرف معظم الناس ، فهناك نوعان متضادان من الشحنات الكهربية ، يعرفان بالشحنة الموجبة (+) والشحنة السالبة (—) ، والقاعدة الأساسية للحركة تحت تأثير القوة الكهربية ، هى أن الأجسام ذات الشحنات المختلفة تتجاذب نحو بعضها البعض ، بينما تتنافر الأجسام ذات الشحنات المتشابهة . وعلى ذلك ، تتجاذب الشحنة الموجبة والشحنة السالبة ، فى حين أن شحنتين موجبتين أو أكثر تتنافران ، وبالمثل فان شحنتين سالبتين أو أكثر تتنافران . وتعتبر قوة التجاذب والتنافر بين الأجسام التى تحمل شحنات كهربية ، القوة المسئولة عن كل القوى تقريبا التى نتعامل معها بشكل مباشر ، بخلاف قوة الجاذبية . فالقوة التى تبذل لارجاع شريط مطاط الى وضعه الصحيح ، وقوة عضلة ترفع وزنا ، وقوة انفجار كيميائى ، هى مجرد أمثلة ثلاثة من أمثلة القوى اليومية التى تحدث فى الواقع بسبب قوة الدفع والجذب الموجودة فى الجسيمات المشحونة كهربيا داخل الأجسام التى نحن بصددها . وستتضح الطريقة التى تخلق من خلالها احدى القوى هذه التأثيرات المتنوعة لنا فيما بعد ، عندما نناقش الطبيعة الأساسية للكيمياء والحياة .

دعك مما يسمى بالقوة الكهربية ؛ فمن أين جاءت السمة المغنطيسية للقوة الكهرومغنطيسية ؟ لقد جرت العادة على اعتبار ان تأثيرات القوة الكهربية وظاهرة المغنطيسية تحدثان نتيجة لقوتين متمايزتين : القوة الكهربية والقوة المغنطيسية ، بينما أوضح جيمس كلارك ماكسويل

James Clerk Maxwell فى فترة الخمسينيات من القرن التاسع عشر ، أنهما سمتين متميزتين من قوة « كهرومغنطيسية » واحدة . فقد تبين أن المجالات المغنطيسية ، أو بمعنى آخر ، مجالات القوة التى تخلقها الأجسام التى نسميها مغنطيسات ، تتولد من حركة الأجسام التى تحمل شحنات كهربية . لذا ، فالقوة التى تجعل ابرة البوصلة تلف نحو الشمال ، وقوة الكهربية الاستاتيكية ، التى تجعل مشطاً من البلاستيك يلتقط ذرات الغبار وقصاصات الورق الصغيرة ، هى ظواهر مختلفة لقوة كهرومغنطيسية أساسية واحدة .

والمعلومات التى أوردناها عن القوة الكهرومغنطيسية تجعل من السهل أن ندرك السبب فى حاجة الطبيعة الى قوة واحدة أخرى على الأقل ، لكى تجعل عالمنا مفهوما . يدرك العديد من الناس التركيب الأساسى لجسيمات المادة المعروف بالذرات atoms ، الذى تتجمع فيه الجسيمات ذات الشحنة الموجبة المسماة بالبروتونات Protons داخل « نواة Nucleus » مركزية بالغة الصغر .

ويجب أن تضم قوة ما هذه البروتونات نحو بعضها ، والا فيتوقع من القوة الكهربية أن تنفرها عن بعضها ، حيث تحمل جميعها نفس النوع من الشحنة ، وهى الشحنة الموجبة . وتسمى القوة التى تعمل على هذا المدى القريب داخل النواة ، وتستطيع التغلب على هذا التأثير الطارد ، بالقوة النووية القوية . وتستشعر هذه القوة أيضا الجسيمات المتعادلة كهربيا المسماة بالنيوترونات Neutrons ، وهى تعمل على ضم البروتونات والنيوترونات مع بعضها البعض داخل نوى الذرات .

وآخر قوى الطبيعة هى القوة الأكثر غموضا ، « القوة النووية الضعيفة » وهى المسئولة عن التحولات الغامضة الدلالة داخل نوى الذرات ، التى تصاحب انبعاث النشاط الاشعاعى « بيتا beta Radioactivity . فالنيوترون فى بعض الأحيان داخل نواة الذرة يمكن أن يتحلل الى بروتون ، والذى يظل فى داخل الذرة ، والى الكترون سريع الحركة يتطاير من الذرة بمجرد تكونه . وتتكون أشعة بيتا من دفقات من هذه الالكترونات الطليقة المنبعثة من مادة ما . وتعتبر القوة النووية الضعيفة مسئولة عن التحول المبدئى للنيوترونات التى تولد اشعة بيتا .

وفى الحقيقة ، فإنه من شبه المؤكد حاليا أن هذه القوة النووية الضعيفة هى مظهر خفى آخر من مظاهر القوة المسئولة عن الكهربية

والمغنطيسية . فنحن نرى أن مصطلح « القوة الكهرومغنطيسية » يتم استبداله على نحو متزايد بالـ « القوة الكهروضعيفة electroweak Force في التعرف على هذه الوحدة الظاهرية .

وعلى ذلك ، فيحتمل الا يكون لدى العلماء الذين يرغبون في وصف واستخدام قوى الدفع والجذب والتغير للطبيعة ، سوى ثلاث قـوى أساسية يتعاملون معها هي : القوة الجذبية ، والقوى الكهروضعيفة والقـوى النوويـة القويـة ، بالاضـافة الى الشحنـات الغامضة المصاحبـة لكل قوة ، والتي تجعل اشـياء معينة تسـتجيب لتـاثير كل قوة .

وقد تكون الأمور أكثر بساطة من ذلك . فقـد رأينـا بالفعـل كيف بدت القوى الكهربية والمغنطيسية المختلفة ظاهريا ، انها أوجـه منفصلة من قوة كهرومغنطيسية واحدة ؛ وبعد ذلك كيف ظهرت القوة النووية الضعيفة على أنها مجرد مظهر آخر لنفس القوة ، التي نسميها حاليا بالقوة الكهروضعيفة . وقد وحدت عملية الاكتشاف هذه القوى الثلاث المتميزة ظاهريا في قوة واحدة ، ولا يزال البحث جاريا عن وحدة اضافية أخرى تتضمن هذه القوى . فلدى الفيزيائيين في الوقت الحـالي سبب قوى للاعتقاد بأن القوة النووية القوية قد تنضم الى الاتحـاد أيضا ، ويعني ذلك أن قوة واحدة أساسية قد تصبح مسئولة عن القوة النووية القوية والقوة النووية الضعيفة والقوة الكهرمغنطيسية ، التي تبدو متمايزة من الظاهر . وربما قد توجد حتى « قوة عظمى » كـونية واحدة ، اذا اتضح توافق الجاذبية مع هذا الاتحاد أيضا ، كما يقترح بعض الفيزيائيين (١) .

هذه الأفكار عن الاتحاد القابل للزيادة للقوى هي مجرد تأملات في الوقت الحالي ، أكثر من كونها حقائق مؤكدة ؛ ولكن حتى في الوضـع الراهن ، فانه تتكشف بساطة سارة ومدهشة للقوى في صميم كـل تغير . ويبدو على أكثر تقدير ، أنه يوجد أربع فقط ، وربما ثلاث فقط ، أو اثنتان فقط أو واحدة من القوى الأساسية التي تعمـل في الكون . ويعتبر التأثير المتبادل بين هذه القوى والأجسام مع الشحنات المناظرة، المسئول عن كل الدفع والجذب والتغير الذي يسبب حدوث الأشياء .

## الفصل الرابع

# الجاذبية

***GRAVITY***

---

لقد اعتدنا على الجاذبية لدرجة أن أصبح من السهل أن ننسى أنها موجودة ، على الرغم من أنها تثبت أقدامنا فوق عالمنا الأرضى وهى التى تجعل الأرض فى تجاور مناسب من مصدر الطاقة الباعث على الحياة الذى نسميه الشمس ، وهى تمسك الشمس وكل النجوم الأخرى فى التجمعات الشاسعة من النجوم التى نسميها بالمجرات . فلو توقف عمل الجاذبية فجأة ، فان محاولتك الأولى للمشى سوف تدفعك بصورة بطيئة لا مفر منها عن الأرض نحو رحلة لا نهائية خلال خواء الفضاء ، وسوف تمضى الأرض نفسها مسرعة بلا توقف مبتعدة عن الشمس ، الى أن تصبح الشمس بالنسبة لها مجرد نجم بعيد آخر فى السماء المعتمة ؛ وسيبدأ البناء الكلى للكون فى الانسياق تدريجيا نحو عزلة موحشة غير متصلة بشىء ، وعلى ذلك تعتبر قوة الجاذبية قريناً مريحاً بالنسبة لنا وعاملا أساسياً لوجودنا على سطح الأرض ؛ ومع ذلك ، فالجاذبية تعتبر ظاهرة طبيعية أخرى من الظواهر التى تبدو مختلفة تماما عندما ينظر اليها من خلال أفكار البرت آينشتين ، قد تختلف طبيعتها الحقيقية عما تفترضه معايشتنا اليومية لها ٠

وتعرف أفكار البرت آينشتين عن وحدة المكان والزمان التى ناقشناها فى الفصل الأول بما يسمى بنظريته الخاصة للنسبية ( أو نظرية النسبية الخاصة ) ، حيث تصف أفكاره المكان والزمان ، كما يرصدها أناس يتحركون بطريقة خاصة بالنسبة لبعضهم البعض ، وبطريقة خاصة لأنهم يجب أن يتحركوا بسرعة ثابتة وفى نفس الاتجاه . وبمعنى آخر ، يجب الا يتكبدوا أى تسارع أو « عجلة » ٠ وأوضح

آينشتين أنه عندما يتحقق هذا الشرط ، فان كافة القوانين الفيزيائية تسرى على الجميع ، فسوف يجدون جميعا أن عقارب الساعات المتحركة تتحرك بصورة أبطأ مما اعتادت عليه ، وأن المسافات قد انكمشت فى اتجاه حركة الأشياء المتحركة بالنسبة لبعضها البعض . غير أن مهمة اينشتين التالية كانت تنصب على وضع الناس الذين لا تتفق حركتهم النسبية مع المعيار الخاص بعدم وجود التسارع . وعلى وجه الخصوص، هل كان من الممكن استنباط نظرية فيزيائية ، بمعنى آخر وصف للأحداث، يمكن تطبيقه بالتساوى على كل الناس ، بغض النظر عن الطريقة التى يتحركون أو يتسارعون أو يتباطئون بها ؟ وبحلول عام ١٩١٥ ، أصبح فى استطاعة آينشتين الاعلان عن نتائجه ، فيما عرف بنظريته النسبية « العامة » .

وكانت الخطوة الكبرى الأولى فى تفكيره المنطقى ، هى انشاء علاقة واضحة تربط بين ظاهرة التسارع وبين الجاذبية ، وتعنى تلك الرابطة التى تعرف بـ « مبدأ التكافؤ principle of equivalence » بين التسارع(العجلة) والجاذبية ، أن تأثيرات التسارع والجاذبية تعتبر واحدة . ولادراك هذا ، فسوف ندرس المثال الذى استخدمه آينشتين نفسه : تخيل أنك فى داخل صندوق بلا نافذة بعيدا جدا فى الفضاء ، بحيث تصبح قوة الجاذبية من الضعف لدرجة أنك لا تشعر بوجودها على الاطلاق . فأنت تسبح فى حالة من « انعدام الوزن » ، منتظرا حدوث شىء ما . وبعد فترة من الوقت ، ولسبب غير معروف ، بدأت تشعر بوزنك مرة أخرى . فقد سقطت برفق على أحد جدران الصندوق ، وشعرت أنك أصبحت أثقل ، الى أن يبدو كل شىء كما لو كان الصندوق قد استقر برفق على سطح الأرض . ويمكنك أن تقف وتقفز لأعلى ولأسفل ، وتلقى بالأشياء فى الهواء وتشاهدها وهى تسقط ، لكنك لا تستطيع أن تتسلق الى أعلى سقف الصندوق ، أو تسبح فيه بحرية ، مثلما كنت تستطيع من قبل . كيف يمكن تفسير هذا التغير ؟ سيكون أحد التفسيرات الواضحة أن صندوقك قد وقع تحت تأثير مجال جذبى حيث تعلمت من خبرتك على سطح الأرض أن ما تمر به الآن ، هو ما تبدو عليه الحياة فى داخل مجال جذبى . وقد يكون هذا أحد المجالات الجذبية الجديدة ، أو أن يكون صندوقك قد استقر برفق على سطح الأرض . على أنه توجد امكانية أخرى مقنعة بنفس الدرجة ، وهى أن صندوقك بدأ يتسارع ، اى بدأ يكتسب عجلة .

ونحن نعرف جميعا الشعور بالتسارع ، عندما نجلس على متن طائرة فى طريقها للهبوط على ممر أرضى ، أو حتى عندما تنطلق بنا

سيارة فجأة . فالتسارع يجعلنا نستشعر قوة تشدنا ظاهريا للخلف فى الاتجاه المعاكس للتسارع . لذا ، فدرجة ملائمة من العجلة المنتظمة فى صندوق خال من التأثير المعقد لجاذبية الأرض ، قد يجعلك تشعر بأنك منجذب نحو أحد جدران الصندوق بنفس القدر تماما كالذى تحدثه أية قوة جذبية . ويعد هذا ادراكاً عميقاً — ان تأثيرات الجاذبية والتسارع واحدة ، أو بمعنى آخر ، تأثير كل من الجاذبية والتسارع « متكافئان » .

كيف ساعد هذا التكافؤ آينشتين على تطوير نظرياته عن الجاذبية ؟ لقد قاده الى وصف تأثيرات الجاذبية ، مستخدما نفس الطرق التى يمكن ان يصف بها تأثيرات الحركة ، وخاصة الحركة المتسارعة .

واذا لاحظنا جسما يتحرك أمامنا دون تسارع ، بمعنى آخر يتحرك بسرعة ثابتة ، فسوف نجد انه يتحرك فى اتجاه ثابت خلال العالم الرباعى الأبعاد من الزمكان . غير أنه اذا بدأ يتسارع بعد ذلك ، فستصبح حركته حينئذ خلال الزمكان حركة منحنية . وقد شرحنا مصدر هذا الانحناء أو التكور فى الفصل الأول : عندما تتغير سرعة الجسم بالنسبة لنا ، فانها تتخذ نوعا من « الدوران » فى الزمكان ، ويتغير الاتجاه الذى تنتقل خلاله فى الزمكان بشكل ثابت ، طالما كان متسارعا ، وان أى شىء متحرك بينما يغير اتجاهه على الدوام ، فانه يتحرك فى منحنى .

هذا عن الأشياء التى تتسارع ؛ فماذا عن الأشياء التى تواجه قوة الجاذبية ؟ فاذا كانت تأثيرات التسارع وتأثيرات التوقف فى مجال جذبى متكافئة ، حينئذ فأى واحد واقف فى مجال جذبى ، لابد وان يكون متحركا فى منحنى عبر الزمكان . كيف يمكن لأى واحد واقف ظاهريا فى الأبعاد الثلاثة للمكان ، أن يكون متحركا فى منحنى عبر الزمكان ؟ ان الناس بطبيعة الحال يتحركون دائما عبر الزمان ، وتبعا لذلك يتحركون عبر الزمكان حتى لو كانوا واقفين ، هكذا يمكنهم أن يتبعوا مساراً منحنياً عبر الزمكان ، لو كان الزمكان نفسه منحنياً أو متمزقاً بشكل ما فى المجال الجذبى . تلك هى نتيجة آينشتين المدهشة : فالجاذبية تناظر تشوها ( سمها تكوراً ، التفافاً ، التواء — كيفما تشاء ) فى نسيج الزمكان نفسه . فإن ما أسميناه مجالا جذبياً ، يظهر فى الحقيقة أنه مجرد منطقة من الزمكان قد أصبحت مشوهة بوجود المادة — بوجود الأجسام ذات الكتلة . وهكذا ، فوفقا لنظرية النسبية العامة لآينشتين ، فقد ظهرت الجاذبية والقوة الجذبية الظاهرية فى صورة مجرد تشوه فى الزمكان .

وعندما نقول ان اجساماً ذات كتل تولد مجالا جذبياً ، فيجب أن نقول فى حقيقة الأمر ، ان السمة الأساسية للأجسام ذات الكتل ، هى أنها تشوه بنية الزمكان . لقد ماتت الجاذبية ، فليعش الزمكان المنحنى !

وقد يبدو هذا مناقضا للمناقشة التى أوردناها فى الفصل السابق ، والتى وصفت الجاذبية بأنها قوة محـــددة تعمل على جذب الأجســام ذات الكتل نحو بعضها البعض . ويوحى هذا التناقض الظاهرى بشىء مهم عن طبيعة العلم ، وكيفية تطور المعرفة العلمية . فصحيح أنه يمكن وصف تأثيرات الجاذبية بصورة دقيقة جداً ، على أنها نتيجـــة لبعض قوى الجذب بين الأجسام ذات الكتل ، فى حين يبدو صحيحا على حد سواء وصف تأثيرات الجاذبية على أنها بسبب اجسام ذات كتل تشوه الزمكان الموجودة فيه . ومن المقبول تماما فى العلم ، أن يكـــون هناك وصفان مختلفان فى نفس الوقت لظاهرة حقيقية واحدة . وتوصف كل واحدة منهما على أنها « نموذج » للحقيقة ، ويمكن أن يستخدم أحيانا نموذجان يبدو من الظاهر أنهما متمايزان ، بطريقة مشروعة تماما فى وصف الحقيقة الفعلية ، عندما ينظر اليها من خلال وجهات نظر مختلفة . فتعتبر فكرة الجاذبية على أنها قوة جذب بسيطة ، النموذج الأقـــدم للجاذبية ، وقد نجحت تماما . بينما تعتبر فكرة الجاذبية التى نشأت عن تكور الزمكان النموذج الأحدث ، فكرة ناجحة أيضاً ، بل تعتبر أحياناً أفضل . وقد يحل النموذج الأحدث تماما محل النموذج الأقدم ، مثلما يحدث فى الغالب فى مجال العلم ، ولكن لا تزال الجاذبية فى الوقت الحالى ، من الموضوعات التى يكتنفها بعض الجدل . وهذا شىء طبيعى جدا ومقبول أيضا . فالعلم لا يمكن أن يوصف على أنه عمل منته . فهو مجـــال عظيم النشاط والتغير ، وليس شيئاً من عدم اليقين والفوضى . وبمضى الزمن ، تتطور الأوصاف التى يقدمها العلم عن الحقيقة — أى النماذج المستخدمة — وهى تزداد قربا من الطبيعة الصحيحة للحقيقة ؛ ومع ذلك فقد يجادل بعض الفيزيائيين فى أن نموذجا من نماذجهم هو المتفق مع الحقيقة بصورة دقيقة . وهذه نقطة يجب أن تأخذها فى الاعتبار خلال مطالعتك لهذا الكتاب . انه تقرير عن التقدم فى تطور وجهة نظر العلم عن الطبيعة ، وليس تلخيصا نهائيا لعمل منته .

لذا ، فلا يزال يتحدث الفيزيائيون فى الوقت الحاضر عن الجاذبية على أنها قوة جذب تقليدية عندما يروق لهم التحدث عنها بهذا الوصف ، ولكن عندما يهتمون بالطبيعة المفصلة الصحيحة للظاهرة ، يفضـــلون حينئذ النموذج الذى تكون فيه التأثيرات الجذبية ناتجة عن تكور الزمكان

المصاحب للأجسام ذات الكتل ، وهو ما يستشعرون على نحو متزايد بأنه أدق تمثيل للحقيقة .

وهكذا فاذا كانت الجاذبية قد نشأت نتيجة تكور الزمكان فما السبب فى سقوط الأشياء على الأرض ؟ لماذا تدور الأرض حول الشمس ؟ لماذا تنجذب نجوم نحو بعضها البعض مثل الشمس وتتماسك فى صورة مجرات شاسعة بالغة الضخامة ؟ فطبقاً للمنطق الذى استخدمناه فى الفصل السابق ، يمكن نسبة جميع التأثيرات الى قوة الجاذبية الجاذبة لجميع الأجسام ذات الكتل نحو جميع الأجسام الأخرى ٠ غير أن فكرة آينشتين عن الجاذبية ، تفسرها كنتيجة للحركة الطبيعية للأشياء خلال انحناء الزمكان . فالكرة التى تقع من أيدينا وتسقط على الأرض ، تكون بسبب « تلوى الزمكان للداخل » نحو الأرض ، وكلما تحركت الكرة عبر الزمكان ، تحتم عليها أن تتبع تلك الالتواءات ٠ وتبدو لنا الأرض الدائرة حول الشمس ، وكأنها تتحرك فى مسار منحن متكرر لا نهائى ، الا أن ذلك يحدث لأننا لا نستطيع أن نرى انحناء الزمكان نفسه حول الشمس بطريقة مباشرة ، حيث ان الأرض فى حقيقة الأمر تدور حول الشمس فى المسار الأقصر ، أى فى خط مستقيم ، عبر زمكان منحن .

ويبدو وكأن قوة الجاذبية قد تملصت من قبضتنا ، واستبدلت بالتصور الخادع للأجسام التى تدور ببساطة عبر زمكان منحن بصورة غامضة . ويبدو ذلك بالنسبة لنا مسألة صعبة ومحيرة ، لأنه لا يمت بأية علاقة لتجربتنا اليومية المعاشة ، لكنه يجعل مفهوم الجاذبية فى واقع الأمر أبسط الى حد ما ، بالسماح لنا بوصفه بلغة هندسية صرفة للنسيج الكونى ، الذى نسميه الزمكان .

يحاول بعض الفيزيائيين فى طليعة الأبحاث الجارية ، أن يروا اذا ما كانت كل القوى ، وليست الجاذبية وحدها ، يمكن أن تدمج فى خطة هندسية مشابهة ، وان كانت اكثر اتساعا . وبمعنى آخر ، هل يمكن النظر لكل القوى على أنها مجرد نتيجة للأجسام المتحركة فى خطوط مستقيمة من المسارات القصيرة عبر الزمكان الذى ينطوى ويلتف بطرق نجد صعوبة فى فهمها ؟ لقد حدث تقدم ملحوظ فى هذه الأفكار ، وتشتمل كلها على كون ذى أبعاد عديدة غير مرئية من الزمكان ، التى لا تظهر لنا بصورة مباشرة ، ولكن بصورة غير مباشرة فقط من خلال الظواهر التى نسميها « قوى » . فاذا كنت ستتابع تقدم العلم خلال السنوات أو العقود القليلة القادمة ، فهيىء نفسك لأن ترى التطور والنجاح فى

نظرية « شاملة لكل شيء » ، والتى ترى فيها جميع الأجسام الأحداث وكأنها ظواهر لهندسة معقدة من زمكان مصحوب بعدد أكبر من الأبعاد المتزايدة ( احـــد عشر بعداً ، طبقاً لأفضل التخمينات حتى الآن ! ) عما هو معروف به فى الوقت الحاضر . ويجرى فى الوقت الحاضر وضع العديد من النظريات المرشحة لكل شيء ، وتوضع فى تنافس مع بعضها البعض ، لكنه لم يثبت لأى منها نصر حاسم . فقد يخرج النصر النهائى للنظريات الفيزيائية من هذه الساحة قريبا ، فان ما اكتشفه آينشتين عن الجاذبية ، القوة الطبيعية الاكثر الفة لنا ، قد يقودنا فى النهاية الى فهم موحد وشامل لكل القوى على أساس الهندسة المتغيرة للزمكان .

الفصل الخامس

# الطـــــاقة

## ENERGY

---

ما الذى نحتاج اليه لانشاء الكون ؟ ما هى قائمة العناصر الأساسية لورشة عملية الخلق ؟ لقد تناولنا فى الفصول السابقة من هذا الكتاب خمس ظواهر ، ستكون فى موضعها الصحيح على راس القائمة وهى : المكان ، والزمن ، والمـــادة ، والقوة والشحنـــة . أما الفنى المدقـــق والخـــبير فلن يكتب ســوى أربع منهـــا فقـــط : الزمكان ، والمـــادة ، والقوة ، بينما لا يزال هناك شىء أساسى غائب عن القائمـــة : وهو الظاهرة المعروفة بالـ « الطاقة » .

وعلى العكس من المصطلحات العلمية العديدة ، يعتبر مصطلـــح الطاقة من المصطلحات الشائعة فى استخداماتنا اليومية . فقد نقول اننا ليست لدينا طاقة عندما نستيقظ فى الصباح ، وقد نتحدث عن توليد الطاقة الكهربية فى محطات القوى ، وعن استهلاك سياراتنا لطاقـــة البترول ، وعن طاقة الغذاء التى نستهلكها بأنفسنا ، وهلم جرا ؛ لكننا نتناول المصطلح فى هذه الأحاديث بطريقة فضفاضة ، ولكى نفهم فكرة الطاقة على وجهها الصحيح ، يجب أن ندرك ما تعنيه الطاقة بالضبط .

فعندما كنا ندرس مادة الفيزياء بالمدرسة ، عرف معظمنا تعريفـــا قياسيا للطاقة على أنه « القدرة على عمل شغل » . ومما لا شك فيه ، فان هذا التعريف يضع أقدامنا على الطريق الصحيح لفهم الطاقة ، لكنه يعرف الطاقة فقط بمصطلحات كلمة أخرى تستخـــدم بصـــورة فضفاضة نوعا ما فى لغتنا اليومية ، فيثار نفس السؤال ، ماذا نعنى بكلمة شغل ؟

احدى الطرق الشائعة للتعبير عن الفكرة العلمية للشغل ، هى القول بأن « الشغل يبذل عندما يرفع وزن ، أو عندما تحدث عملية يمكن ان تستخدم من حيث المبدأ فى رفع وزن » . ويشتمل هذا التعريف على رفع وزن معين ( كيلو جرام واحد ، على سبيل المثال ) الى ارتفاع معين ( متر واحد ، على سبيل المثال ) يمكن أن يستخدم كقياس معيارى للشغل ، يمكن من خلاله قياس العمليات الأخرى المستخدمة فى الشغل ؛ ولكن ما الذى تتضمنه العملية الحقيقية للشغل ذاته ، ومن ثم الطاقة ذاتها ؟

انها تخبرنا بأن الشغل يبذل عندما تحرك جسما ذا كتلة ضد جذب قوة الجاذبية ( أو تحرك فى مسار آخر ، خلاف مساره الطبيعى عبر الزمكان المنحنى ، اذا قبلنا وصف الجاذبية الذى شرحناه فى الفصل الرابع ) . فادراك ان الشغل ينطوى على صراع ضد قوة ، يعتبر ادراكاً عميقاً واعياً لما نعنيه حقيقة عن الشغل والطاقة . ففى تعريفنا للشغل لا تستخدم قوة الجاذبية الا لمجرد أنها أكثر التمثيلات المألوفة للقوى الأساسية . وفى مضمار القوة الكهرومغناطيسية يمكننا بنفس الطريقة أن نقول ان الشغل يبذل عندما يسحب جسم مشحون بشحنة موجبة بعيداً عن جسم مشحون بشحنة سالبة ، فى مقاومة لقوة التجاذب، أو يقرب جسم ذو شحنة موجبة من جسم له نفس الشحنة ، ضد قوة التنافر . فيمكننا اذن أن نوسع تعريف الشغل الى « يبذل الشغل عندما يتحرك جسم ضد تأثير قوة أساسية من قوى الطبيعة » .

ويمكننا من خلال فهمنا لتعريف الشغل أن نبحث عن صورة أقرب لمعنى الطاقة ، التى عرفناها حتى الآن على أنها القدرة على بذل شغل . فاذا كانت الطاقة هى القدرة على بذل شغل ، والشغل يبذل عندما يتحرك شىء ضد تأثير قوة أساسية ، فمن الواضح أن الطاقة يجب أن تكون هى « القدرة على احداث حركة ضد تأثير قوة أساسية». ونستطيع أن نفكر فى ظاهرة الطاقة على أنها احدى صور « قوة مقاومة » أو حتى « قوة مضادة » ، حيث تشير القوة الى واحدة من القوى الأساسية .

فالطاقة هى خاصية مختزنة داخل ، او كامنة فى ، أى جزء من أجزاء الكون الذى نعرفه بالقول بأنه « نظام » . ويمكن أن يكون النظام أى جزء نختاره من الطبيعة ، بدءا من شىء صغير جدا كالذرة ، الى تجمعات مثل الخلايا الحية ، والكائنات الحية والآلات والتركيبات

الجيولوجية ، وصولا الى الكواكب والنجوم والمجرات كلها ، وحتى نصل الى الكون كله . ويشار في الغالب الى النظم المحتوية على مقادير كبيرة من الطاقة ، على انها النظم « عالية الطاقة » أو « الحالات » عالية الطاقة ؛ في حين تسمى النظم ذات الطاقة الأدنى بالنظم « منخفضة الطاقة » ؛ على الرغم من أن هذه التعريفات تصف الطاقة بمصطلحات نسبية بدلا من وصفها بكميات مطلقة .

وتعتبر الصخرة الموجودة فى شرف جبل عال احدى الأمثلة البسيطة لحالة الطاقة العالية ، ولكونها محتجزة على ارتفاع كبير عن سطح الأرض عما هو مفروض ، فان وضعها ينطوى بشكل واضح على بعض « التحدى » للقوة الاساسية المسماة بالجاذبية . وطريقة أخرى لوصف هذا التحدى ، هى الاشارة الى أن قوة الجاذبية على استعداد تام لاجبار الصخرة على الهبوط لأسفل ، اذا ما حدث تغير مفاجىء فى الظروف يسمح لها بذلك . فلو تقلقلت الصخرة من الشرف الملتصقة به ، وسمح لها بالسقوط فسوف ينتهى بها الحال بأن تستقر ثابتة على الأرض فى حالة طاقة أقل من وضعها السابق . وعلى الأرض ، لم يعد لقوة الجاذبية ذلك الاستعداد لجعل الصخرة تسقط ، ومن الواضح ان تحدى وضع الصخرة للجاذبية سيكون أقل ؛ ولكن ماذا حدث للطاقة التى فقدتها ؟ هل انتقلت لمكان آخر ، أم اختفت ؟ والاجابة أنها انتقلت لمكان آخر . فقد تحولت الى نظام أو نظم أخرى . وفى أبسط الحالات، تنتقل الطاقة الى الأرض عندما تصطدم الصخرة بسطح الأرض . فسوف تؤدى الصدمة الى تحريك جزيئات الأرض ( الذرات والجسيمات والأيونات ) من مكانها ، وكما سنوضح بالتفصيل بعد قليل ، تعتبر جميع الحركات شكلا من أشكال الطاقة . وبناء على ذلك ، فعندما تصطدم الصخرة بالأرض ، فانها تندفع ضد جزيئات الأرض ، وتندفع جزيئات الأرض بدورها نحو الصخرة ، ويؤدى رد فعل الأرض هذا الى توقف الصخرة عن السقوط ، لكن ذلك يؤدى أيضا الى اهتزاز جزيئات الأرض بشدة ، عندما تضطرب بسبب اصطدامها بالصخرة . وتبدأ الطاقة التى كانت كامنة فى الصخرة فى البداية فى التسرب بشكل منتظم خلال طبقات الأرض ، نتيجة اصطدامها بجزيئات الأرض . فالطاقة المختزنة فى البداية فى وضع الصخرة ، انتهى بها الحال الى حركة أكثر عنفا لجزيئات الأرض .

وتعتبر تحولات الطاقة هذه ، سمة أساسية لكل التغيرات ، ونقل الطاقة هو كل ما يمكن أن يحدث للطاقة ، ولنقتبس القول الفصل من

العلم المدرسى ، الذى ينص على أن : الطاقة لا تفنى ولا تستحدث ، لكنه يعاد توزيعها فى صورة أخرى . وسوف نجرى بعض التنقيح على هذه المقولة التقليدية الواضحة فيما بعد ، عندما نناقش العلاقة بين الطاقة والكتلة ، ولكن بعد تنقيح بسيط ستظل قولا فصلا أساسياً للعلم الحديث . فهناك قدر معين من الطاقة موجود بالكون ، وهذه الطاقة لا يعاد توزيعها الا أثناء التغيرات الطبيعية . غير أن احدى الحيل الطريفة البارعة لهذه الفكرة ، هى أن القدر المعين من الطاقة الموجود بالكون ، قد يصبح صفراً فى مجمله ، حيث يمكن وصف بعض أنواع الطاقة بطريقة رياضية على انها طاقة موجبة والبعض الآخر على انه طاقة سالبة ، فعندما ندرس الكون ككل ، فان الطاقة الموجبة تلغى الطاقة السالبة ( انظر الفصل الثامن ، موضوع الخلق ) .

وبعد أن ضربنا مثلا بسيطاً جداً من نظام عالى الطاقة ولاحظنا كيفية تغيره الى نظام منخفض الطاقة ، فلنراجع قولنا بأن الطاقة المحتواة فى النظام تفى بشرط كونها قادرة على بذل شغل ، مثل رفع وزن . فاذا جعلنا قطعة الصخر تسقط على أحد طرفى أرجوحة ، وكان شخص آخر يجلس على طرفها الآخر ، فمن الواضح أن سقوط قطعة الصخر على طرف الأرجوحة سيجعل الشخص يرتفع لأعلى ، ربما يرتفع قليلا ، ربما يرتفع كثيرا ، فالمقدار الذى يرتفعه ياتى تبعا لحجم الصخرة ومدى سقوطها ووزن الشخص . فمهما كانت قيمة التاثير ، فمن المؤكد أن سقوط الصخرة سيكون له القدرة على بذل شغل ، وجعل هذا الشغل الشخص الجالس على طرف الأرجوحة يرتفع لأعلى ، متحديا بذلك قوة الجاذبية ، فى حين أن تحدى الصخرة نفسها للجاذبية قد اختفى ، لذا ، فالطاقة التى اكتسبتها الصخرة فى البداية لكونها موجودة فوق الجبل ، قد تحولت الى وضع أعلى للشخص فوق الأرجوحة .

ومن السهل تماما تصور السبب فى أن صخرة موجودة فى موقع مرتفع من جبل ، هى نظام عالى الطاقة . وفى حالات أخرى ، لا تكون الأشياء بنفس الوضوح . فالوقود الكيميائى مثل الفحم والبترول والغاز وزيت البترول الخام ، تعتبر أمثلة أخرى من النظم عالية الطاقة نسبيا ، فى حين أن أصل طاقاتها اكثر غموضا نوعا ما . فهى تحتوى على طاقة، بسبب الترتيب الدقيق لمكوناتها الكيميائية ، وعلى وجه الخصوص ، ترتيب جسيماتها دون الذرية سالبة الشحنة المسماة بالالكترونات ، وجسيماتها دون الذرية موجبة الشحنة المسماة بالبروتونات . وسوف نناقش محتوى الطاقة وتغيرات طاقة المواد الكيميائية بالتفصيل فى

الفصول الأخيرة ، لكننا سنناقش فى الوقت الحالى هذا التعميم البسيط : تحتوى المواد الكيميائية على طاقة ، لأن ترتيب الكتروناتها وبروتوناتها ينطوى على بعض التحدى للقوى الكهرومغنطيسية ( تلك التى تجذب الشحنات المختلفة نحو بعضها البعض ، وتطرد الشحنات المتشابهة عن بعضها البعض ) ، وايضا لأن الجسيمات المتكونة منها فى حالة حركة.

وهنا يبرز موضوع متكرر : تعتبر الحالات عالية الطاقة مرتبطة بالأجسام التى تنطوى مواضعها على بعض التحدى لتأثير قوة أساسية ، أو بالأجسام التى هى فى حالة حركة ، أو لبعض التوليفات من هذين التأثيرين . ومن هنا يمكن التعرف على نوعين متمايزين من الطاقة : طاقة مرتبطة بوضع وطاقة مرتبطة بحركة . ويعرف هذان النوعان من الطاقة فى العلم بمصطلحى « طاقة الوضع Potential energy و « طاقة الحركة Kinetic energy » على التوالى ، واللذين يجب أن نتناولهما بشكل أوضح .

تعرف الطاقة التى تكتسبها الأجسام بسبب أوضاعها « طاقة الوضع » ، لأن لهذه الأجسام امكانية بذل شغل اذا تغيرت مواضعها الى مواضع تشتمل على تحد اقل لقوة أساسية . ولذلك ، فالصخور الموجودة فى مجال جذبى عال ، أو الأجسام المشحونة شحنة كهربية موجبة ، التى تبتعد مسافة قليلة من الأجسام المشحونة شحنة كهربية سالبة ، يعتبران مثالين للنظم المحتوية على طاقة وضع ، بسبب أجسام لها أوضاع تتحدى قوة الجاذبية الأساسية أو القوة الكهرومغنطيسية الأساسية .

ويعتمد اى شىء متحرك له قدر معين من الطاقة الحركية ، على مدى سرعة تحركه وعلى مقدار ضخامته . ولكى نفهم لماذا تكون الأجسام المتحركة مكتسبة بعض الطاقة نتيجة لحركتها ، سنضرب مثالا بسيطا جداً لكرة تتدحرج على سطح مستو لفترة من الزمن ، ثم يصادفها بعد ذلك تل . فبسبب اندفاع الكرة ، فانها تأخذ فى صعود التل مسافة ما ، مستغلة ما بها من حركة كدفعة لأعلى . ان هذا الصعود هو رفع لوزن الكرة — وهو المعيار لأداء شغل . ومن هنا نرى أن الحركة قد استغلت لبذل بعض الشغل بالفعل ، متمثل فى رفع وزن الكرة نفسها ، وبذلك فالكرة تمتلك بعضا من الطاقة بسبب حركتها .

تعتبر الطاقة الحركية للحركة والطاقة الوضعية للوضع صورتين أساسيتين من صور الطاقة ، وقابلتين للتحول من احداهما للأخرى .

فهما يتحولان بصورة تبادلية عندما تتسلق كرتنا منحدرها . فعندما تصعد الكرة أعلى المنحدر ، تتناقص طاقتها الحركية للحركة ، بينما تتزايد طاقتها الوضعية للوضع ، طالما كان صعود الكرة لأعلى متحديا الجاذبية . وفى النهاية ، تتوقف الحركة الصاعدة ، وعند هذه النقطة تكون كل طاقتها الحركية الأولية قد تحولت الى طاقة وضع . واذا لم توجد آلية تحفظ الكرة فى وضعها الجديد هذا ، فستبدأ على الفور فى السقوط مرة أخرى ، حيث تتحول طاقتها الوضعية مرة أخرى الى طاقة حركية ، عندما تتحرك فى الاتجاه المعاكس الذى بدأت منه الصعود. واذا وجد منحدر مشابه فى الاتجاه المقابل من النظام ، فسوف يضمن استمرار التحول التبادلى بين الطاقة الحركية والطاقة الوضعية . فاذا استطعنا جدلا التخلص من قوى الاحتكاك بين الكرة والأسطح التى تتدحرج عليها ، واذا استطعنا تجنب مشكلة مقاومة الهواء ، بجعل الكرة تتدحرج فى خواء ، فسوف تتدحرج الكرة جيئة وذهابا للأبد ، أولا الى أعلى أحد المنحدرات ، ثم تهبط منه وتصعد الى المنحدر الثانى ثم تهبط منه وهكذا ، فى دورة غير منتهية من تحول الطاقة حركية الى وضعية الى حركية الى وضعية ... : حركة سرمدية !

وبطبيعة الحال ، فى العالم الحقيقى سوف يؤدى الاحتكاك ومقاومة الهواء الى توقف الكرة تدريجيا عن الحركة ، عندما تتبدد طاقة الكرة على السطح الذى تتدحرج فوقه وفى الهواء المحيط بها . وهذا « التبدد» للطاقة بسبب الاحتكاك ومقاومة الهواء ( والذى يعتبر فى الحقيقة مجرد احتكاك بين الكرة والهواء ) يكون فى الواقع بسبب التصادم بين ذرات الكرة وذرات السطح الذى تتدحرج فوقه ، وذرات الهواء الذى تواجهه. فهذه التصادمات تجعل بعض ذرات السطح والهواء ترتج وتنطلق بسرعة أكبر ، ونتيجة لذلك تكتسب طاقة أكبر ، عندما تصطدم ببعضها البعض وتندفع نحو الذرات الموجودة على سطح الكرة . وستتباطأ الكرة بدورها بسبب هذه العملية ، عندما تندفع ذرات السطح والهواء الى سطح الكرة ، فى الاتجاه المعاكس لحركتها ، عندما تحاول الكرة التحرك فوق السطح وخلال الهواء .

وقد عرفنا وناقشنا الآن الطاقة بصورة مجملة ، بينما لا تزال هناك مفاجآت مختزنة ، عندما نفحص ظاهرة الطاقة بشكل أكثر تفصيلا . لم يكن الفكر العميق لألبرت آينشتين قاصرا على اسقاط وجهات النظر الكلاسيكية عن المكان والزمان والجاذبية ؛ فقد تحول اهتمامه أيضا الى الطاقة ، والى العملية التى غيرت بشكل جذرى مفاهيم كل من الطاقة والكتلة .

ونتذكر من الفصل الثانى ، انه كلما ازدادت سرعة الأجسام ، ازدادت ضخامتها ، نتيجة لذلك تصبح اثقل ، والتى فسرت كنتيجة لحقيقة عدم وجود شىء ينطلق بسرعة أكبر من سرعة الضوء . فاذا تخيلنا جسما يتعرض لسلسلة من الدفعات ، وينتج عن كل دفعة زيادة اقل فى السرعة عن الدفعة السابقة لها ، وتسبب زيادة هائلة فى كتلة الجسم . وهى الآن تاخذ الطاقة لتعطى الجسم دفعة . وعندما ندفع الجسم ونكسبه عجلة ، فاننا نبذل فيه شغلا ، وتذكر أن الطاقة حسب تعريفها ، هى القدرة على بذل شغل . لذا فكل دفعة على مركبة فضائية ، على سبيل المثال ، والتى يصحبها احتراق قدر محدد من وقود الصاروخ ، سوف يمد المركبة الفضائية بقدر متساو من الطاقة. ما الذى تفعله هذه الطاقة ؟ فى البداية ، يكون تاثيرها الأكثر وضوحا فى زيادة سرعة المركبة الفضائية ، لكننا نعرف أيضا أن هذا التاثير سيزيد من كتلة المركبة الفضائية ، كلما تسارعت المركبة واقتربت من سرعة الضوء ، لذا سيصبح تاثير زيادة الكتلة هو التاثير السائد ـ طاقة تزود بها المركبة الفضائية وتعمل على زيادة كتلتها .

كان هذا هو الأساس المنطقى ، لما قد يكون من أهم اكتشافات آينشتين الشهيرة : يمكن للظاهرة التى نسميها طاقة أن تخلق ظاهرة يمكن أن نسميها كتلة . ومن الواضح انه توجد علاقة قوية بين الطاقة وكتلة المادة . وقد صاغ آينشتين هذه العلاقة فى كلمات : « ان كتلة اى جسم هى مقياس محتوى طاقته » ؛ وتصاغ بشكل رمزى كهذا :
ط = ك × س٢ .

تعتبر هذه المعادلة من اشهر المعادلات فى العلم ، التى توضح أن الطاقة (ط) لأى جسم ( ط : مقاسه بوحدات الجول ) تساوى كتلته ( ك : مقاسه بالكيلوجرامات ) مضروبة فى سرعة الضوء ( س : بالمتر فى الثانية ) ، وبعد ذلك تضرب مرة أخرى فى سرعة الضوء ( بمعنى آخر أن ط = ك × س × س ) . والوحدات والأرقام الدقيقة لا تهمنا هنا اذا رغبنا ببساطة فى اخذ فكرة عن المبادىء . فالمبدأ الأساسى هو أن الطاقة يمكن أن تعمل على خلق كتلة ، والعكس صحيح ، يمكن أن تعمل الكتلة على توليد طاقة . والطريقة الأكثر دقة للتعبير عن العلاقة ، هى القول بأن كل طاقة أيضا بها قدر معين من الكتلة ، وكل الكتل بها قدر معين من الطاقة ، بمقادير تحددها المعادلة ط = ك × س × س .

هذه العلاقة بين الكتلة والطاقة ليست ببساطة مبدا ملغزا من مبادىء الفيزياء ، فهى العلاقة التى تقف وراء الطاقة المنبعثة من الأسلحة

النووية ومحطات القوى النووية ومفاعل الاندماج النووى الذى نسميه بالشمس .

ففى أى تفجير نووى ، يتحطم بعض من المادة لينطلق منه مقدار مناظر من الطاقة ( فى صورة حرارة ، وفى صورة ضوء ، وصور أخرى ). وفى قلب محطة قوة نووية ، يستمر اطلاق الطاقة الكامنة فى جسيمات المادة بطريقة أكثر احكاما ، وتتحرر الطاقة التى تعمل على غليان الماء ، لتوليد البخار الذى يدير ريش توربينات مولدات الكهرباء . وفى الشمس، تندمج ذرات المادة مع بعضها البعض لانتاج ذرات جديدة مكتسبة كتلة اقل من كتلة الذرات الأصلية ، ويناظرها انطلاق طاقة فى صورة حرارة وضوء واشعاعات أخرى .

ولتلخيص ما سبق ، فالطاقة والكتلة ، بدلا من كونهما ظاهرتين متمايزتين تماما ، فانهما يرتبطان سويا فى علاقة حميمة : كتلة أى جسم هى مقياس محتواه من الطاقة ؛ لذا فان الكتلة ، وبالتالى المادة يمكن اعتبارها صورة من صور الطاقة الحبيسة . محبوسة ، لكنها تنتظر دورها للانطلاق .

دعنا نعيد النظر فى « قائمة محتوياتنا عن الخلق » بشكل مختصر قبل أن نمضى فى البحث . فبالنسبة للزمكان والمادة والقوة والشحنة ، يمكننا أن نضيف اليها الآن الطاقة . لكننا قد رأينا لتونا أن الطاقة والكتلة يمكن اعتبارهما سمتين لنفس الظاهرة ، تلك الظاهرة التى وصفت بأشكال متعددة فى صورة كتلة ــ طاقة ، أو مادة ــ طاقة أو ان شئت نحتنا لها مصطلحاً وليكن « كتطاقة massergy » أو « مادطاقة mattergy » (١) . لذا فقد أصبحت قائمة محتوياتنا مختصرة مرة أخرى ، الى زمكان وكتلة ــ طاقة وقوة وشحنة . أربعة مكونات تصنع الكون ، بما فى ذلك كل حياته ! وسيكشف بقية هذا الكتاب عن كيفية تمازج هذه المكونات بصورة فعلية مع بعضها البعض لتصنع الكون وحياته ، وسوف تقابلنا أيضا احتمالات لاختصار قائمة المحتويات مرة أخرى .

الفصل السادس

# الجســـــيمات

## *PARTICLES*

---

يمكن لمن لديه نزعة التفلسف فى مجال العلم قضاء وقت طويل قادحا الذهن حول ايجاد علاقة بين الكل بالجزء . هل الكل « مجرد » مجموع لأجزائه ؟ هل الكل اكثر من مجموع أجزائه ؟ هل يحدث شىء غامض وسحرى وخفى عندما تتجمع الأجزاء وتتفاعل مع بعضها لتكون الكل ؟ الشىء الذى نادرا ما يشك فيه هو فكرة أنه من المفيد — علـــى الأقـــل لبعض الأغراض — النظر الى البنايات الكبيرة فى الكون — «الكليات» — على أنها مكونة من عديد من الأجزاء الأصغر . وعلى ذلك ، فالى أى مدى يمكننا المضى فى عملية تحليل الأشياء الى اجزاء أصغر ؟ والاجابة البسيطة المستقاة من العلم المدرسى ، هى اننا نستطيع الاستمرار فى تفتيت الأجزاء الى جزيئات أصغر حتى نصل الى كيانات دقيقة تعــرف بالجسيمات ، بالرغم من أن بعض الجسيمات يمكن تفتيتها الى جسيمات « أساسية » أصغر منها . ويجب الا يتهيب أحد من مصطلح جسيمات، فهو لا يعنى فى الحقيقة سوى أجزاء صغيرة . ومع ذلك يستخدمـــه العلماء لوصف سلسلة معينة من الأجزاء الصغيرة فى الكون ، والتى تسمى أكبرها بالجزيئات ، والتى يليها الذرات عندما ننتقل الى جزيئات أصغر فى الحجم ، ثم البروتونات والنيوترونات فالكواركات والالكترونات على سبيل المثال لا الحصر للجسيمات المألوفة . وفى هذا الفصل ، سوف نناقش ماهية هذه الجسيمات وما هى الفروق وأوجه الشبه بينهـــا ، ولماذا تنال هذا القدر من الأهمية والتأثير .

وتعتبر أبسط أنواع الجسيمات التى يفهمها غير العلماء ، جسيمات المادة — وبمعنى آخر ، قطع المادة الصغيرة التى يصل اليها المرء فى

النهاية عن طريق تفتيت قطعة كبيرة من المادة الى قطع أصغر . ومن حيث المبدأ ، ( وعلى الرغم من صعوبة التطبيق العملى ) ، يمكن للمرء أن يأخذ قطعة من معدن الحديد على سبيل المثال ، ويهشمها الى قطع صغيرة ، ويهشم القطع الصغيرة الى قطع أصغر منها ، ويستمر فى عملية التهشيم والتفتيت الى قطع أصغر الى أن يحصل على مجموعة من ذرات الحديد . وهذه الذرات هى الأجزاء الأصغر من قطعة حديد ، التى لا تزال تسلك السلوك الكيميائى كالحديد : بمعنى آخر ، التى يمكن أن تشارك فى نفس التفاعلات الكيميائية كأجزاء الحديد الكبيرة . غير أن الذرات لا تعتبر الجسيمات « الأساسية » غير القابلة للانقسام، حيث يمكن أن تنشطر الى ثلاثة أنواع من جسيمات أصغر « دون ذرية sub-atomic » ، التى يطلق عليها البروتونات والنيوترونات والالكترونات . فاذا شطرنا ذرة الحديد ، فسنجد ستة وعشرين بروتونا وستة وعشرين الكترونا ، ويحتمل أن نجد ثلاثين نيوترونا ( حيث يمكن أن يتغير عدد النيوترونات فى أى ذرة ) . وبقدر ما هو معروف ، لا يمكن أن تنشطر الالكترونات الى وحدات أصغر منها ، فهى تعتبر الجسيمات الأساسية الحقيقية ؛ فى حين يتكون كل بروتون ونيوترون من ثلاثة جسيمات أساسية أصغر منه تعرف بالكواركات ( بالرغم من أن أحداً لم يستطع حتى الآن أن يشطره الى كواركات حرة ، وقد يكون هذا الانشطار مستحيلا ) .

وعلى ذلك تعتبر جسيمات المادة مثل الذرات والبروتونات والنيوترونات والالكترونات ، هى مجرد أجزاء صغيرة من المادة ؛ ولكن ما هى حقيقة هذه الأجزاء ؟ فقد يستهوينا أن نفترض أنها يجب أن تكون مماثلة لما نسميه فى حياتنا اليومية بالمادة ، لكنها أصغر منها ليس الا . لذلك فهناك بالمثل من يستهويه أن يفترض أن هذه الجسيمات هى أجسام أصلب قليلا مثل كرات حمام السباحة الصغيرة أو كرات البلياردو . ولسوء الحظ يعتبر هذا الفرض فرضا ساذجا لا طائل منه . ولكى نصل الى فهم حقيقى عن تركيب الطبيعة ، فيجب أن نتجنب معظم تصوراتنا البسيطة السابقة لخبراتنا عن الطبيعة . وقد اضطررنا بالفعل أن نتخلى ، أو على الأقل أن نكيف أفكارنا اليومية عن المكان والزمان والجاذبية . فعندما نختبر الطبيعة الحقيقية للجسيمات ، سوف نحتاج الى التخلى عن أفكارنا اليومية عن المادة . ففى عالمنا اليومى ، تعتبر المادة قواما لشىء محسوس صلب . ويمكنك أن تصفع بيدك مادة جدار حائط صلب ، وأن تمسك بمادة صلبة من الحجر فى يدك ، وتشعر بصلابة المادة الشديدة بجسمك عندما تجلس فوق مقعد ؛ بينما تتبخر صلابة

المادة وتماسكها عند تفحصها بتفصيل أدق . وسوف نجد فى النهاية ( فى الفصل السابع ) أن تلك المادة تنزلق من قبضتنا الى تجريد طيفى نوعاً ما . ويجب الا يثبط هذا من عزيمتنا عن المضى فى محاولة معرفة الكثير عن جسيمات المادة . فبمجرد أن تبدأ المادة تحيرنا وتذهلنا ، فاننا نبدأ فى تقدير طبيعتها الحقيقية حق قدرها . وكبداية ، يجب أن نبدأ فى التفكير فى الجسيمات ، بما فيها جسيمات المادة ، على أنها ظواهر بدلا من كونها كرات صلبة دقيقة . فجسيمات المادة ليست كرات صلبة دقيقة من المادة ، على الرغم من أنها تتصرف كما لو كانت كذلك ، لكنها ظواهر مثيرة للاهتمام فى عالم الزمكان ، لم يتم فهمها على الوجه الصحيح .

وهناك بعض انواع من الجسيمات لا يمكن حتى وصفها بجسيمات المادة ، لأنها لا تملك « كتلة سكون » ، أى أنها ليست لها كتلة على الاطلاق عندما تكون ساكنة ( غير متحركة ) . ولا يزال بعض الناس يتساءلون فى تعجب عن وجود مثل هذه الجسيمات على الاطلاق ، اذا كانت لا تحتوى على مادة ، ولكن عندما نعتبر كل الجسيمات كظواهر ، يجب أن نحاول تقبل هذه الجسيمات عديمة الكتلة كظواهر حقيقية ، تماما مثلما نعتبر أشياء غريبة مثل الآراء والاتجاهات ومعدلات التضخم والتغيرات ، ظواهر حقيقية فى عالم حياتنا اليومية ، على الرغم من اننا لا نستطيع ان نمسك بها أو نضعها فى قبضة أيدينا .

وسوف نكتشف المزيد عن الجسيمات عديمة الكتلة فى الحال ، ولكن قبل أن تبدأ أقدامنا فى الانزلاق فى منحدر لأسفل الى الأعماق المظلمة من الفيزياء والفلسفة الكلاسيكية ، دعنا نعود خطوة للوراء ونحاول استعادة اتزاننا ، بتعلم المزيد عن الخصائص التى جعلت الجسيمات تبدو بهذه الصورة .

يمكن وصف معظم الجسيمات من خلال قائمة بها ستة خصائص أساسية ، أو « احصاءات حياتية » (*) . فالإحصاء الحياتى الأول لأى جسيم هو كتلته — أى مقياس لكم المادة التى تناظره ، ومدى قوة المجال الجذبى الذى يخلقه ، ومقدار ثقله ، وتبعا لأينشتين ، مقدار تكور الزمكان المصاحب له .

---

(*) احصائيات حياتية : احصائيات الاحياء ( كالمواليد والوفيات ) . قياس استدارة خصر المرأة وصدرها وأردافها . معجم المغنى الكبير حسن كرمى — ( المترجم ) .

والاحصاء الحياتى الثانى ، هو شحنته الكهربية : هل هو موجب الشحنة ، أم سالب الشحنة ، أم غير مشحون كهربيا على الاطلاق ؛ وفى حالة ما اذا كان يحتوى على شحنة كهربية ، ما مقدار الشحنة التى يحتويها ؟ وهناك طريقة أخرى للاجابة عن نفس السؤال ، هى القول بأنه هل كان الجسم « يحس » أو « لا يحس » بالقوة الكهرومغنطيسية ، واذا كان الأمر كذلك ، فبأى طريقة والى أى مدى .

وتدلنا كتلة أى جسيم على علاقته بالقوة الجذبية ، وتدلنا شحنته الكهربية على علاقته بالقوة الكهرومغنطيسية ؛ لكنه توجد قوتان اخريان ، القوى النووية القوية والضعيفة ، التى ينبغى أن نعرفهما أيضاً . لذا فالاحصائيان الحياتيان رقم ثلاثة واربعة هما حجم وطبيعة « شحنة القوة القوية strong charge » ( مدى الاحساس بالقوة القوية ، اذا ما وجد مثل ذلك الاحساس ، والذى يتضمن من الناحية الفنية ظاهرة يسميها الفيزيائيون بالـ « لون colour) ، وحجم وطبيعة « شحنة القوة الضعيفة weak charge » ( مدى احساسه بالقوة الضعيفة ، اذا ما وجد على الاطلاق ) .

ولا توجد سوى معلومتين أخريين مطلوبتين لتلخيص الخصائص الأساسية لأى جسيم . فالأولى هى متوسط عمره life time وهو المدى المتوقع لبقائه . وأفضل قياس له يأتى من خلال « نصف عمر half life » الجسيم ، وهى الفترة المقطوعة لنصف عدد كبير من الجسيمات لكى تتحلل الى شىء آخر . ويعتبر هذا القياس غير المباشر نوعا ما لمتوسط العمر مطلوب لأنه مشابه الى حد بعيد لحياتنا ، فمتوسط عمر أى جسيم مقدما لا يمكن أن يحدد بصورة دقيقة ، ولا يمكن توقعه بصورة دقيقة مقدما ؛ فى حين أن التغيرات فى متوسطات الأعمار ، تصل من خلال عينة كبيرة لتعطى نصف عمر دقيق جدا ، ويمكن أن يتراوح ما بين أكثر قليلا من واحد من تريليون من الثانية الى عدة بلايين من السنين . ويبدو أن بعض الجسيمات تدوم لفترة طويلة ، حتى يشار اليها غالبا بأنها « ثابتة » ، أى انه يمكن اعتبار متوسط أعمارها غير منتهية ( لا محدودة ) .

وتعرف الاحصائية الحياتية الأخيرة لأى جسيم بما يسمى « اللف Spin » ويمكن تعريفها بصورة تقريبية على أنها مقياس للمدى الذى يدور فيه الجسيم حول محوره . وهذه ، على رغم ذلك ، لا تعدو أن تكون طريقة غير دقيقة نوعاً ما لتخيل ظاهرة غريبة .

ومن ثم ، فالكتلة والشحنة الكهربية والشحنة الضعيفة والشحنة القوية ونصف العمر واللف ، هى الاحصائيات الحياتية الست للجسيمات ، التى تعطينا معلومات عن علاقة اى جسيم بالقوة الجذبية والقوة الكهرومغنطيسية والقوة الضعيفة والقوة القوية ، ومدى دوامها ، والطريقة التى تتغير بها خواصه عندما يتحرك فى الزمكان . وهناك أشياء أخرى ، يجب أن نقولها عن بعض الجسيمات ، حتى نصفها بشكل كامل ، لكن هذه الأشياء الست الرئيسية هى ما يجب أن نعرفه عنه أولا .

وترتبط الاحصائيات الحياتية لجسيم ببعضها البعض عادة على النحو التالى : يمكن تقدير الكتلة بـ « وحدات الكتلة الذرية atomic mass units » ، وهى الوحدة التى تضع كتل البروتونات والنيوترونات بشكل ملائم قريب جداً من الواحد ؛ أو يمكن أن تعطى الكتلة على أساس الطاقة المصاحبة للكتلة ، كما تحددها المعادلة ط = ك × س × س . وتذكر أن كل جسيم أيضا سيكون له كتلة سكون أساسية ، وسلسلة من الكتل الأكبر المناظرة لكتلته عندما يتحرك بسرعات معينة . وتقدر الشحنة الكهربية على أساس الشحنة الموجودة على بروتون ، +١ ، أو على الكترون ، — ١ ، بحيث أن أى جسيم ستكون شحنته مساوية للصفر ، اذا لم يحس بالقوة الكهربية ، أو زائد أو ناقص بعض المضاعفات أو الكسور لـ + ١ أو — ١ ، اذا أحس بالقوة . وفى ملخص موجز للجسيمات ، فمن المعتاد تماما أن نذكر ما اذا كانت أو لم تكن تحس بالقوتين النوويتين الضعيفة والقوية . ويمكن تقدير أنصاف العمر ببساطة سواء بالثوانى أو بالسنين ، فى حين يعطى اللف كمضاعفات لمقدار أساسى له ، فيوصف الجسيم مثلا بأنه ذو لف ٢/١ ، كما يمكن أن يكون اللف موجبا أو سالبا ، مناظرا للدوران فى الاتجاهات العكسية .

ان موضوع هذا الفصل هو الجسيمات بصفة عامة ، وليس أية جسيمات خاصة . وسوف نقابل العديد من الجسيمات الخاصة للمادة فى الفصول الأخيرة ، وسنذكر أى احصاءات حياتية متعلقة بها . وحاليا ، سوف نناقش أحد الخصائص التى تسمح بوضع كل الجسيمات فى واحدة من فئتين أساسيتين .

فتبعـا لنظرية فيزيائية حديثة ، تعتبر القوى التى تجـذب وتدفع جسيمات المادة ، هى نفسها تأثير تبادل مجموعة أخرى من الجسيمات، « تحمل » أو تحدث تأثير القوى . ولنضرب مثلا بالالكترونات ، الجسيمات المعروفة من المادة التى تحمل شحنة كهربية سـالبة . فالالكترونـان القريبان من أحدهما الآخر ، يتباعدان بسبب التأثير التنـافرى للقـوى الكهرومغنطيسـية . وتقول نظرية فيزيائية حديثة أن هذه الحركة تحدث نتيجة تبادل الجسيمات الحاملة للقوة بين الالكترونين . وعلى ذلـك يجب أن يوجد لكل قوة أساسية واحد أو أكثر من الجسيمات المناظرة الحاملـة للقـوة أو « الجسيمـات الوسيطـة » ، التى تنتقـل بين الجسيمـات المستجيبـة للقـوة وهى التى تحـدث بالفعـل هـذه الاستجابة . وتسمى الجسيمـات الحـاملة للقـوة الكهرومغنطيسية بالفوتونـات photons ، وهـى مناظـرة للجليونـات gluons التى تحمـل القـوة القويـة ، والجرافيتونـات gravitons التى تحمل القوة التجاذبية ( أو هى المسئولة عن تكور الزمكان المصاحب للجاذبية ، اذا استخدمنا وصف التكور للجاذبية ) ، والجسيمات المعروفة ببساطة بالحرفين W و Z ، التى تحمل القوة الضعيفة . وسوف تعرف الكثير عن هذه الجسيمات الحاملة للقوة فى الفصل السابـع ، ولكن يجب أن نعرف فى الوقت الحـالى أن هنـاك فئتين كبيرتين من الجسيمات : الجسيمات التى تعتبر حاملات للقوة ( والتى تنتمى جميعها الى طائفة الجسيمات المعروفة bosons « بوزونات » ) ؛ وجسيمات المادة ، تلك المتأثرة بحاملات القوة (١) .

وهناك بساطة طريفة موجودة فى صميم الجسيمات التى تشعـر بالقوى ولكن لا تحملها . وهى أن جميع جسيمات المادة هذه تتكون من أربعة جسيمات أسـاسية . ويعرف اثنـان مـن هـذه الجسـيمات بالـ « كواركات » ، وهما على وجه التخصيص ، الكوارك « الصاعـد up quark » والكوارك « الهابط down quark » ؛ بينما يسمى الجسيمان الآخران بالـ « لبتونات leptons » ويضمان الالكترون المألوف، وقريبه الأقل ألفة « نيوترينو الكترون » .

وعلى ذلك ، فلكى ننشىء عالمنا ، نحتاج الى الجسيمات المدونة فى ( جدول ٦ ـ ١ ) . وهناك جسيمات أخرى ، لكنه يمكن اعتبارها جميعا مؤلفـة من هـذه الأنـواع الأسـاسية أو الأوليـة . وعلى سبيل المثال ، يتكون البروتون ، من اثنين من الكواركات صاعدة وكـوارك هابط ، ويتكون النيوتـرون من اثنين من كـواركات هابطـة وكوارك صاعد ، الخ .... والجزيئـات والذرات الأكبر ، والتى تعتبر مـن

الجسيمات التى يعرفها معظم الناس ، تتكون من أعداد متنوعة من البروتونات والنيوترونات والالكترونات . وسوف نعود للحديث عن تركيب وسلوك الذرات والجزيئات ، بشىء من التفصيل ، عندما نبدأ فى النظر الى الطبيعة الشاملة للكيمياء والبيولوجيا ( بدءاً من الفصل التاسع فصاعدا ) ، بدلا من الفيزياء الأساسية .

وهناك تعقيد واحد اخير : المجموعة الأساسية المكونة من كواركين ولبتونين الموضحة فى جدول ٦ — ١ ، نجدها مناظرة بالفعل لجيلين آخرين من الجسيمات المتشابهة ، التى يمكن أن تنشأ بصورة اصطناعية فى معجلات الجسيم عالى الطاقة ، لكنها لا تعتبر من مكونات المادة اليومية . ويتكون الجيل الثانى من « الكوارك الفاتن « charmed و « الكوارك الغريب strange » ، و « الميون muon » و « الميون — نيوترنيو muon-neutrino » . ويتكون الجيل الثالث من « الكوارك العلوى top » و « الكوارك السفلى bottom » ، الذى يناظر الـ « التيون tauons » و « النيوترينو — تيون » . ولا تعنى الأسماء شيئاً مهما ، فهى مجرد عناوين اختيرت لأسباب أغلبها ثرثار نوعا ما . والفرق الأساسى بين أعضاء الجيل الثانى والثالث وأعضاء الجيل الأول ، هو أن جسيمات الجيل الثانى والثالث ، تعتبر أثقل من مثيلتها الموجودة فى الحياة اليومية ؛ واذا اهتممنا فقط بتركيب المادة اليومية فى العالم حولنا ، يمكننا أن ننسى الأجيال العليا تماما . ويمكن فهم العالم حولنا على أساس أربعة جسيمات أساسية — الكواركات العليا والسفلى ، الالكترون والالكترون — نيوترون ، بالاضافة للجسيمات حاملة القوى : الفوتونات ، والجليونات ، والجرافيتيونات ، وجسيمات W و Z

وعندما تتأمل « غابة الجسيمات » هذه ، ستقابل العديد من المخلوقات الغريبة ذات الخواص والأسماء غير مألوفة ، تذكر أنك لا تحتاج للاحتفاظ فى ذاكرتك الا بالمبادىء الجوهرية والمفاهيم المبسطة لعالم الجسيمات (٢) .

ويمكن النظر الى الجسيمات بصورة أفضل على أنها ظواهر متميزة موجودة فى الكون ، غالبا ما تكون لها خواص أكثر غرابة ، مخالفة للأجسام الصلبة التى نراها يوميا كالصخور والأحجار . وعندما نتخلى عن فكرة الجسيمات على أنها كرات دقيقة صلبة ، فسنحدث تقدما عظيما فى فهمنا للعالم الدقيق ، لسبب جوهرى ، فهى ليست ثابتة على حال واحد ، بل يمكن أن تفنى ، متحولة الى صورة نقية من الطاقة

بالضبط كما يمكن أن تخلق من لا شيء سوى الطاقة ، وهي قد تظل لبرهة من الزمن ، ثم اما أن تعود الى طاقة نقية أو « تنحل » الى أنــواع اخرى من الجسيمات . والأمر كما لو كان أن « نسيج الزمكان الكونى » ، أيا كان ذلك ، يمكن أن يلتف على نفسه ، متخذا عدة أقنعة مختلفة ، هي ما نسميها جسيمات ، كما يمكن أن يفك نفســه ، فتختفى تلــك الجسيمات . وكل نوع من الجسيمات له مجموعة مختلفة من «الاحصاءات الحياتية » مختلفة عن الأنواع الأخرى ؛ كتلة مختلفة ، وشحنة ولف ، الخ . ــ وهذه الاحصاءات أو الخصائص ، هى التى تحدد ما تعمله وما يحدث لها . أما الأسماء التى نعرف من خلالها الجسيمات فلا تعتبر شيئا جوهريا ؛ فما يمكن أن تعمله ، بمعنى آخر خصائصها ، هو كــل ما يهمنا .

وفكرة « نسيج الزمكان للكون الذى يمكنه أن يلتف فى جســيمات مختلفة » ليست مجرد تشبيه بليغ ، فكما رأينا فى الفصل الرابع ، هناك فرع من الفيزياء النظرية يحاول تفسير كل شيء ، بما فيه كل الجسيمات وكل القوى ، على أساس الهندسة الملتوية للزمكان ، بنفس الطريقــة التى وصفت بها الجاذبية على أساس الزمكان المنحنى بتأثير المادة . ولم تكتمل النظريات بعد ، لكنها تعطى الأمل فى وجهة نظر بسيطة على نحو رائع عن الكون ، على صورة زمكان يرتجف ويلتوى ، ويتغير عن طريق التواء أجزاء ، أو فك التوائها (٣) . وفى النهاية ، فقــد تأتى هذه الأفكار بتغييرات جذرية فى فهمنا للفيزيــاء ، وتبين أن السكــان الحاليين لغابة الجسيمات ، ما هى الا مبتكرات غير حقيقية وناقصــة للعقل البشرى ، ليست سوى نمذجة فضفاضة للحقيقة . وســوف تتركنا ثورة كهذه مدينين باعتذار نقدمه للاغريق القدامى ، الذين أصروا على أن المادة متصلة ، برغم الآراء السائدة لديمقريطيس (*) ، الذى زعم أنها تتكون من جسيمات قليلة غير قابلة للتجزئة ، وهــكذا وضع بذرة العلم الحديث لفيزياء الجسيم . وقد يكون الكون كله بالفعــل متكونا من « شيء » ملتو متصل ، تتصرف التواءاته المحكمــة الشــد كجسيمات متميزة ، دون أن تكون فى الحقيقة جسيمات متميزة عــلى الاطلاق . واذا كان الأمر كذلك ، حينئذ يمكن اختصار قائمة محتويات الخلق التى ناقشناها من قبل الى بند واحد فقط : الزمكان ، ووصفــة الخلق الى مجرد عملية واحدة أساسية : الالتواء .

---

(*) ديمقريطس ( ٤٦٠ ؟ ـ ٣٧٠ ق.م ) : فيلسوف يونانى ، قال بأن العالم يتألف من ذات مختلفة شكلا وحجما ووزنا ـ ( المترجم ) .

**جدول ٦ ـــ ١ الجسيمات الموجودة فى عالم الحياة اليومية حولنا ، التى تتكون منها المادة والتى تعمل كوسيط لقوى الطبيعة ٠**

| | الجسيم | كتلة السكون ( مقاسة بوحدات الكتلة الذرية ) | الشحنة الكهربية | تعليق |
|---|---|---|---|---|
| الكواركات | الصاعد | ٣٢٧ر تقريبا | + ٢/٣ | تتكون العديد من الجسيمات الأخرى من الكواركات ٠ فالفوتونات والنيوترونات على سبيل المثال ، يتكون كل منها من ثلاثة كواركات ٠ وتتماسك الكواركات مع بعضها البعض بواسطة قوة نووية قوية ٠ |
| | الهابط | ٣٢٧ر٠ تقريبا | ـــ ١/٣ | |
| اللبتونات | الالكترون | ٥٤٥٠٠٠ر٠ | ـــ ١ | تتحد الالكترونات مع البروتونات والنيوترونات المتكونة من كواركات ، لتصنع كل مادة مستقرة فى الحياة اليومية ٠ ويتوافر النيوترينو بكثرة فى الكون ، ولكن كتلته الضئيلة للغاية وخلوه من الشحنة يجعلان تفاعله مع المادة غاية فى الضآلة ٠ |
| | نيوترنو ـ الكترون | قيمة لا تذكر | صفر | |
| البوزونات ( حاملات القوى ) | الجرافيتون | صفر | صفر | مسئول عن قوة الجاذبية |
| | الفوتون | صفر | صفر | مسئولة عن القوة النووية الكهرومغناطيسية |
| | جسيمات $Z^0, W^+, W^-$ | ٥٠٠ لكل منها | $W^+$ = + ١<br>$W^-$ = ـــ ١<br>$Z^0$ = صفر | مسئولة عن القوة النووية الضعيفة ٠ |
| | الجليونات | صفر | صفر | مسئولة عن القوة النووية القوية ٠ |

الفصل السابع

# الـــكم ( الكوانتـــا )

## *QUANTA*

---

عندما نلقى نظرة على العالم ونحاول فهم تأثيراته ، فمن الطبيعى ان نحاول تفسير كل شىء على أساس الأشياء البسيطة التى نعرفها ونستطيع أن نفهمها . فالأجزاء الواضحة فى عالمنا هى الأرض والبحر، ونجد على الأرض أجساما صلبة جامدة كالصخور والأحجار ، بينما نجد فى البحر ( وفى الأنهار والبحيرات أيضا ) حركات أمواج المياه . فالأجزاء الجامدة من الأجسام الصلبة وحركة أمواج المياه ، يعتبران ظاهـــرتين جليتين فى العالم الطبيعى . وفى محاولة العلماء الأولى لفهم العـــالم ، استخدموا هذه الظواهر كنماذج يعتمد عليها للأشياء الموجودة فى عالم الأشياء الدقيقة micro-world . وقاموا بتطوير نظريات عن عالم من أشياء دقيقة ، متكون من « جسيمات » صلبة دقيقة من المادة التى تنتقل خلال بحر من « موجات » من طاقة اشعاعية مثل الضوء . وكانت هناك أسباب وجيهة لافتراض أن أكثر ما يعتبر عناصر أساسية للطبيعة ، اما أن يكون جسيمات أو أمواجاً ، لكنه كان افتراضاً مبسطاً بصـــورة مضللة مبنيا على الأمل والتوقع ، من أن عالم الكيانات الصغيرة جـــداً سيكون مشابها لعالمنا اليومى الكبير تماما . ومع ذلك ، فعالم الكيانات الصغيرة المكون من الجسيمات والضوء ، يختلف تماما عن عالمنا فى عدة نواح محيرة . ويعرف فرع الفيزياء الذى يضم هذه الألغاز ، ويعطينا النظرة الأفضل عن حقيقة عالم الأشياء الدقيقة ، بميكانيكا الكم .

وتبدأ قصة ميكانيكا الكم بالضوء المفترض أن له طبيعة موجية ، ثم تبين بعد ذلك أن له طبيعة جسيمية أيضا ؛ ثم انتقلت الى ما كان يفترض أنه جسيمات صلبة ، ثم ظهر أنها تسلك سلوك الموجات فى نواح مهمة ؛

وبعد ذلك تطورت القصة الى وجهة نظر موحدة عن كون لا يوجد به موجات ولا جسيمات ، لكنه يتأسس على ثنائية لجسيم موجى غامض فى قلب كل شىء . وتعتبر نتائج تبنى هذه النظرة الثنائية والموحدة عن الأشياء ، نتائج مروعة ومذهلة ومفيدة الى حد بعيد .

ودعنا نبدأ بالنظر الى الضوء والصور الأخرى من نوع الطاقـة المعروفة بالاشعاع الكهرومغنطيسى . فطاقة الضوء التى تنبعث مـن الشمس ، أو من المصباح الكهربى فوق رؤوسنا ، ما هى الا مجـرد الجزء المرئى من منظومة عريضة فيما يعرف بالأشعة الكهرومغنطيسية ، والتى تشمل أيضا أشعة جاما والأشعة السينية والأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء والموجات الميكروية ( الميكروويف ) وموجـات الراديو . وتسمى هذه الموجات بالأشعة لأنها تشع للخارج من مصادرها وتسمى بالأشعة الكهرومغنطيسية ، لأنها تتكون من تموجات متحركـة من مجال قوة كهرومغنطيسى . وعندما يصطدم الاشعاع الكهرومغنطيسى بشىء ما ، فانه ، بمعنى آخر ، يتعرض لقوى كهرومغنطيسية متذبذبة قادرة على دفع وجذب الأشياء التى تحس بالقوة الكهربية فيه . والاشعاع الكهرومغنطيسى هو طاقة منطلقة بأقصى سرعة لا يتجاوزها أى شىء آخر ، ألا وهى سرعة الضوء .

والفرق بين الأشعة العديدة للطيف الكهرومغنطيسى ، هو ببساطة مسألة تردد التموجات لمجالات القوة الكهرومغنطيسية المصاحبة لهـا . فأشعة جاما لها أعلى تموجات ترددية ، تتبعها الأشعة السينية فالأشعة فوق البنفسجية فأشعة الضوء المرئى فالأشعة تحت الحمراء فالموجات الميكروية وأخيرا موجات الراديو ذات التردد الأدنى .

وعندما ينتقل الشعاع الكهرومغنطيسى ، فانه يسلك سلوكاً مشابهاً جداً كما لو كان متكوناً من موجات ، تلك الحقيقة المعروفة من واقـع تسميات مثل « الموجات الميكروية » و « موجات الراديو » . ويبدو انها نبذبة متحركة أو اهتزازة متحركة ، وهو فى الحقيقة ما تمثله أية موجة . وهى تظهر أيضاً الخاصية المميزة للموجات المعروفـة بالـ « تداخـل interference » : فعندما تتقابل موجتان ، فانهما يتدمجان ، أو يتضافان الى بعضهما البعض ، بحيث اذا تقابل قاعا موجتين ، فانهما يعطـيان قاعا أعمق ، واذا اتحدت قمتا موجتين ، فانهما يعطيان قمـة أعلى ، أما اذا تقابلت القيعان بالقمم ، فان احداها تلغى الأخرى تماماً ؛ أما ما ينتج عن الاتحادات الأخرى فأنماط موجية أكثر تعقيدا . وقد أدى

هذا السلوك الى النظرية الموجية للضوء ، والتى ظلت دون شك فيها حتى السنوات الأولى من القرن العشرين .

وكان البرت آينشتين — مرة أخرى ! — هو الذى قام بالكثير من الاختبارات للنظرية الموجية الضوء ، وجاءت فى بحث نشره فى عام ١٩٠٥ ، وهى نفس السنة التى نشر فيها نظريته عن النسبية الخاصة. وفى محاولة لتفسير تجربة قام بها الفيزيائى ماكس بلانك ( ذلك العالم المشهور بثابت عددى أساسى فى الطبيعة ، يعرف بـ « ثابت بلانك » ) ، قال آينشتين ان الضوء والأشعة الكهرومغنطيسية الأخرى ، يجب أن يظهرا فى صورة « كتل » متميزة ، أو حتى « جسيمات » تسمى فوتونات. وقد اقترح أن الضوء بأى طول موجى ، أى أية مسافة بين قمم موجاته المتحركة ، يجب أن يتكون من فوتونات ، والتى تحمل جميعها قدرا متساويا ومحددا من الطاقة . وفكرة أن الضوء متكون من دفق من كتل الطاقة الدقيقة المسماة بالفوتونات ، قد تمت البرهنة عليها بتجربة أخرى ، ولكن ماذا تعنى ؟ هل تعنى أن الضوء ليس شبيهـا بالموجة ؟ لا ، فهى تعنى أن الضوء فى حقيقته ، ليس موجة خالصة ولا جسيما خالصا ، لكنه يتصرف بصورة تشتمل على عناصر من كلا هذين النوعين من السلوك . وقد عبر عنها آينشتين بالقول بأن فهما كاملا لطبيعة الضوء سيشتمل على اندماج أوصاف الموجة والجسيم ، بدلا من التخلى عن أيهما . ويعتبر هذا الاندماج صعباً ، ان لم يكن مستحيلا ، علينا تصوره ، حيث لا تسلك أى من الأشياء التى نعرفها فى عالمنا اليومى هذه الخاصية المزدوجة . وعلى الرغم من ذلك ، فقد كشف عدد كبير من التجارب عن أن الضوء ، يستطيع فى الحقيقة أن يسلك أحيانا شكل حركة موجية وأحيانا كدفق من جسيمات متميزة . فالضوء فى حقيقته له هذه الخاصية ، ومن سوء حظنا ، أن نجد صعوبة فى فهمه .

وعلى ذلك لا يتكون الضوء فى الحقيقة من موجات خالصة ، ولا من جسيمات متميزة ، بالمعنى الذى نستخدمه عادة فى هذه المصطلحات . فهو يتكون من شىء آخر ، من احدى الظواهر الفريدة التى ليس لها نظير مماثل فى عالم الحياة اليومية . واحدى طرق محاولة فهم فكرة ثنائية الموجة — الجسيم هذه بشكل أفضل ، هى اعتبار أن أى فوتون كمنطقة دقيقة من تذبذب متمركز فى المجال الكهرومغنطيسى ، ينتقل بطريقة متماسكة ، بحيث انه يسلك أحيانا سلوك جسيم متميز وأحيانا كالذبذبات ( أى الموجات ) . ووجهة النظر هذه تجعلنا نصف الفوتون على أنه « حزمة موجية » ، برغم أن هذا لا يزال يعطى تمثيلا بسيطاً لوضعه

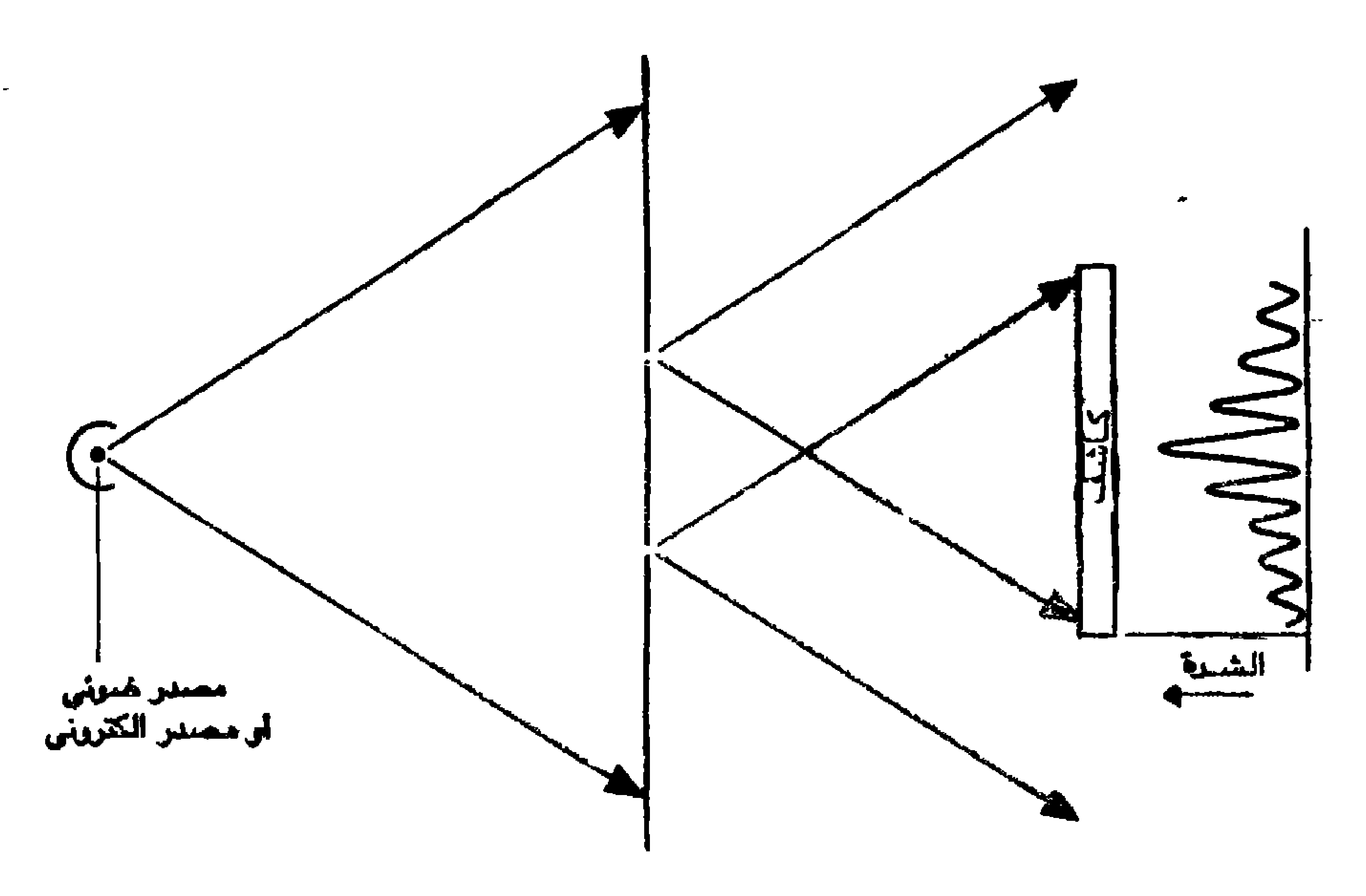
الحقيقى . لاحظ أنه يجعل من « المجال » الظاهرة الأكثر أساسية ، على اعتبار ان الجسيم ، أى الفوتون ، مفسراً على أنه اضطراب نشط ومتمركز فى المجال . وتلك هى الطريقة التى يفضلها معظم الفيزيائيون عندما يفكرون فى الجسيمات : على أنها اضطرابات متمركزة من مجـالات أساسية .

وعندما احتار الفيزيائيون فى قدرة الضوء — الذى اعتبروه زمنـا طويلا مكونا من موجات — على التصرف أحيانا كدفق من الجسيمات ، فإن خوفاً آخر تراءى لهم فى صورة معكوسة لتلك المفارقة . اذ لم يلبث أن اقترح فيزيائى فرنسى شاب يدعى لويس دى برو جلى Louis de Broglie. ( وينطق«دى برويى»بتشديد الياء ) ، فى أوائل العشرينات من القرن الحالى ، أن جسيمات مثل الالكترونات والبروتونات ، وهـلم جرا ، قد تكون أيضا جزءاً من لغز محير ، بامتلاكها خواص شبيهـة بالموجة غير معروفة حتى الآن . واستطاع التوصل من خلال برهان رياضى بسيط الى « طول موجى » لجسيمات مثل الالكترونات ، ولكن ماذا كانت صلة العالم الحقيقى بالنجاح النظرى الذى توصل اليه فى بحثه ؟ لقد قدم دى بروجلى فكرته هذه كجزء من أطروحته لنيل درجة الدكتوراه ، ولكن عندما فكر أساتذته فى بحثه فى أواخر عـام ١٩٢٤ ، لم يكونوا منفعلين به بدرجة كبيرة . غير أنه بحلول عام ١٩٢٧ ، تم تأكيد بحثه بالتجربة ، ومع حلول عام ١٩٢٩ ، حصل على جائزة نوبل عن هذا البحث . لذا فالصلة بين بحثه والعالم الحقيـقى ، هى أن الالكترونات تستطيع فى الحقيقة أن تتصرف كموجات ، بطريقـة تبدو مخادعة تماما ، اذا ما داومنا على اعتبارها جسيمات صلبة دقيقة .

ويمكن ملاحظة الطبيعة الشبيهة بالموجة للالكترونات والجسيمات الأخرى عن طريق القيام بتجربة بسيطة جداً ، لا يستخدم فيها سـوى مصدر ضوئى ومصدر الكترونات وحائل مزود بثقبين ، وأحد كواشف الضوء أو الالكترونات من الجانب الآخر من الحائل (انظر الشكل ٧ — ١ ).

فاذا سطع الضوء على الحائل ، فان كل ثقب دقيق فى الحائل ، يتصرف كما لو كان مصدراً جديداً من الضوء ، الذى تنبعث منه موجات الضوء ، كما هو موضح فى شكل ٧ — ١ . وتتداخل هاتان المجموعتان من الموجات مع بعضها البعض بالطريقة التى شرحناها من قبل ، بحيث

ان شدة الضوء الواصل عند أجزاء مختلفة من الكاشف ، تعلو وتهبط في صورة « نمط تداخل interference pattern » (١).وكما سبق شرحه في تداخل الموجات ، تظهر أعلى شدة ضوء عندما تتآزر الموجتان بصورة كاملة ، وذلك في أماكن تقابل القمم مع القمم ، والقيعـــان مع القيعان ( تداخل « تركيبى » interference constructively). كما تظهر مناطق تقابل القيعان بالقمم مظلمة ، اذ تلغى كل موجة تأثير زميلتها ( تداخـــل « هدام » interference Destructively) . أما فيما بينهما من مناطـــق فتتدرج فيها شدة الضوء . ووجود مثل هذا النمط من التداخل ، هو دلالة حاسمة على الظاهرة الموجية .




( شكل ٧ ـ ١٠ ) يظهر كل من الفوتونات والالكترونات سلوكا موجيا .

والآن ، افترض أن مصدر الضوء قد استبدل بمصدر من الكترونات. فلو كانت الالكترونات جسيمات صلبة دقيقة حقيقية ، فسوف نتوقع من كل واحدة اما أن تخترق أحد الثقوب أو ترتد من الحائل . وبمضى الوقت، يمكن انشاء نمط من « شدة وصول الالكترون » على الكاشف ، لكننـــا من غير شك لن نتوقع منه أن يشبه نمط تداخل . فكل الكترون يخترق ثقبا سيصل الى نقطة دقيقة على الحائل الثانى ، دون أن يتوقع مـــن الالكترونات الأخرى اى تداخل معه في مساره ، ( بخلاف التصادم الذى قد يغير من المسار ) . غير أن الشيء المثير الذى يحدث ، هو وجود نمط تداخل بالفعل ! فالمخطط الذى يرسم فيه عدد الالكترونـــات التى تصل الى كل نقطة على الكاشف على مدار فترة زمنية يطابق تماما النمط التداخلى المميز لسلوك الموجات . وهو بالفعل نمط تداخـــلى ، لأن

الالكترونات تظهر نفس ثنائية الجسيم ــ الموجة المحيرة مثل الفوتونات. ومع ذلك فالشيء الأكثر ادهاشا ، هو أن هذا النمط التداخلى ينشأ حتى عندما تنفصل الالكترونات من المصدر الواحدة تلو الأخرى ــ والتى اذا فكرت فيها لبرهة ، تعنى أن كل الكترون منفرد ، أو شيئاً ما يصاحب كل الكترون ، يجب أن ينفذ بطريقة ما خلال كلا الثقبين فى نفس الوقت !

كيف يمكن تفسير هذه النتائج المحيرة ؟ انها تدلنا بغير شك على أن الالكترونات تسلك بشكل ما سلوك الموجات ، وبذلك تبطل الفكرة الساذجة التى تقول بأنه يمكن وصفها ببساطة على أنها جسيمات صلبة دقيقة . وفيما يتعلق بما يمثله بالضبط العنصر الموجى فى طبيعة الالكترون ، فهو يعتبر بؤرة جدل لم تحسم بعد بشكل مرض . فالتفسير القياسى يمضى كهذا : ان ما يتحرك من مصدر الالكترون ومن الحائل ، ويمضى خلال كلا الثقبين فى نفس الوقت لتوليد نمط تداخل يمكن اعتباره « موجة احتمالية probability wave »(٢) ، تنسب شدتها عند اية نقطة الى احتمال وجود الكترون فى أى مكان وزمن معين . وتتقيد الالكترونات بطريقة ما بقانون هذه الموجة الاحتمالية ، وتظهر كجسيمات دقيقة عند نقاط عديدة على الكاشف بالأعداد المطلوبة لجعل نمط وصول الالكترون يبدو مشابها تماما لنمط التداخل الذى ينتج عن وصول موجة معروفة . كيف تتحكم الموجة الاحتمالية فى سلوك الالكترونات المنفردة بصورة دقيقة ، أو كيف « تنهار » الالكترونات المنفردة بعيداً عن نمط الموجة الاحتمالية ؟ ذلك يعتبر شيئاً غامضاً تماماً . ولا يعتبر هذا بأية حال تفسيراً مرضياً ، ولا تفسيراً مقبولا بشكل كامل . وتظل مشكلة تفسير التجربة باقية ، ولكن مهما كانت هذه المشاكل ، لا يمكن الجدل حول حقائق التجربة . وفى الحقيقة ، تسلك الالكترونات وجميع الجسيمات الأخرى المفترضة ، المختبرة بطريقة كاملة وواقعية سلوك الموجات فى بعض الأوجه المهمة . وهناك ثنائية موجة ــ جسيم حقيقية فى قلب المادة ، تجعل المفاهيم المنفردة عن الموجات أو عن الجسيمات غير كافية لوصف الفوتونات والالكترونات والمستوطنين الآخرين فى العالم دون الذرى الغريب .

ويعتبر الشيء الذى قدمته هنا موجزاً وصفياً نوعياً وتفسيراً عاماً جداً لثنائية الجسيم ــ الموجة الموجودة فى قلب كل شيء . أما عن التفسير الكمى بصورة دقيقة ومفصلة ، فيحتاج أن يكتب بشكل موسع بلغة الرياضيات . وهذا ليس بالمجال للكشف عن التفاصيل الرياضية

لميكانيكا الكم ، ولكن يكفى القول بأن الأفكار والظواهر العامة التى شرحناها سابقا ، يمكن وصفها بطريقة الكم بصورة دقيقة وجميلة ، باستخدام لغة الرياضيات المحكمة . وعندما نقوم بذلك ، تبرز لنا سمة جديدة واضحة عن الكون . ولكن يبدو انه من المستحيل الحصول على معلومات دقيقة عن الأحداث الموجودة فى العالم دون الذرى بصورة كاملة . أو من المستحيل ، بمعنى آخر ، أن نصف مكان كل شىء وما يفعله ؛ ويعتبر هذا مستحيلا ، ليس بسبب عدم كفاية التجارب من جانبنا ، ولكن لأن هذه الدقة المحددة ، لا تعتبر جزءاً حقيقياً من طبيعة الأشياء . فنحن نجد فى قلب العالم دون الذرى عدم يقين عميق لا يمكنه أن يمحى أبداً .

وعدم اليقين هذا يطلق عليه بـ « مبدأ عدم اليقين uncertainty principle » وينسب الى فرنر هيزنبرج Werner Heisenberg الفيزيائى الألمانى ، الذى اكتشف هذا المبدأ من خلال المعادلات الرياضية لميكانيكا الكم فى عام ١٩٢٦ . ويمكن توضيح مبدأ عدم اليقين لهيزنبرج بأكثر من طريقة . ويمكن أن يوضح بالقول بأن موقع وكمية تحرك أى شىء ( سواء أكان الكترون أو بروتون ، أو فوتون ، الخ ... ) لا يمكن أن يتحددا بدقة فى نفس الوقت ؛ أو بالقول بأن طاقة أية ظاهرة وزمنها المستمر يكونان دائماً مصاحبين بدرجة معينة من عدم اليقين . وبغض النظر عن كيفية ذكر مبدأ عدم اليقين ، فمن المهم التأكيد على أنه لا يصف ببساطة بعض القصور فى قدرتنا على قياس ما يحدث فى العالم دون الذرى ، بل انه يؤكد على اضفاء صفة عدم يقين حقيقى أو « غموض » العالم دون الذرى ذاته . فلا نستطيع أن نعرف الوضع وكمية التحرك الصحيحة لأى الكترون ، على سبيل المثال ، لأن الالكترون لن يكون له بالفعل وضع أو كمية تحرك دقيقة .

ويجب أن ننبذ فكرة أن العالم دون الذرى مكون من جسيمات أو موجات دقيقة ، تتحرك فى كل مكان بسرعة محددة بطاقات محددة وتتفاعل مع بعضها البعض بطريقة محددة ومصيرها محدد فى النهاية . وبدلا من ذلك ، يجب أن نتقبل بوجود أحداث سائدة ومتأصلة بشكل غير يقينى فى العالم دون الذرى جداً ، ويجب أن تكون الأوصاف الوحيدة التى نتبعها دائما ، للوصول الى هذه الأحداث أوصافا احتمالية . ويمكننا أن نقول ، بمعنى آخر ، ان احتمال أن يؤدى جسيم أى شىء معين هو كذا أو كذا ، لكننا لا يمكن التكهن بسلوكه بنسبة يقين مائة بالمائة ،

لأن الجسيم نفسه لا يعرف بالتفصيل وبصورة محددة ما يفعله فى وقت معين وفى مكان معين .

ويبدو أن كل هذا مثير للحيرة الى حد ما ، وهو كذلك فى حقيقة الأمر . فعندما تبدأ ميكانيكا الكم فى ارباكك ، أعرف حينئذ انك بدأت تفهمها ! فقد أربكت حتى أفضل الفيزيائيين الذين يعملون فى أقصى ما انتهى اليه العلم فى هذا المجال ، فهم لا يعرفون على وجه الدقة ماذا تعنى . فوجود عدم اليقين المتأصل ، الذى كشفت عنه ميكانيكا الكم ، يجب ان يقبل ، وذلك لأن تأثيراته جميعها تحيط بنا .

ومن بين تأثيراته الأكثر انتشارا ، تلك القوى الأساسية نفسها ، لأنه بدون مبدأ عدم اليقين ، لن توجد هذه الجسيهات التى يعتقد انها مسئولة عن هذه القوى . فاذا عدنا الى موضوع الجسيمات بالفصل السادس ، فسنرى أن الفيزياء الحديثة تعتبر أن كل القوى تحدث نتيجة تبادل الجسيمات الحاملة للقوة بين الأشياء التى تشعر بالقوى . لذا ، فاذا اعتبرنا الكترونين بالقرب من بعضهما البعض ، على سبيل المثال ، فسوف ينفر أحدهما من الآخر ، بواسطة تبادل فوتونات الطاقة الكهرومغنطيسية ، التى تعمل كجسيمات رسل للقوة الكهرومغنطيسية. الا أنه يوجد شىء خاص نوعا ما عن هذه الفوتونات الحاملة للقوة ، بالمقارنة بفوتونات الضوء التى تسمح لك بقراءة هذه الصفحة . وتعرف الفوتونات الحاملة بالفوتونات « التقديرية virtual » ، لأنها لا يمكن أن توجد الا لفترة محددة ، ويحددها بشكل صارم مبدأ عدم اليقين .

ولكى نعرف شيئاً عن هذا ، يجب أن نركز على واحد من أحد الكتروناتنا المتفاعلة ، والأخذ فى الاعتبار طاقته . وقد نميل الى القول بأن الالكترون يجب أن يمتلك قدراً معيناً من الطاقة ، يعتمد على مدى السرعة الذى يتحرك بها وعلى الأشياء المحيطة به ، ولكن نتذكر حينئذ ان مبدأ عدم اليقين يخبرنا أن طاقة الالكترون غير يقينية بدرجة محددة بالضبط . ويمكن أن تفقد الالكترونات الطاقة بقذف الفوتونات ، أو يمكن أن تكتسب الطاقة بامتصاص الفوتونات ، وهى فى مطلق الحرية لأن تفعل ذلك بطريقة عشوائية ، على شرط أن تكون التغيرات فى الطاقة ليست أكبر من عدم اليقين الملازم لطاقة الالكترون عموما . لذا فطوال الوقت تقذف الالكترونات بالفوتونات ، وتعيد امتصاصها بسبب الحرية التى يسمح بها مبدأ عدم اليقين . ويشار الى هذه الفوتونات « بالفوتونات التقديرية » ، للتمييز بينها وبين الفوتونات الحرة ، التى

نراها فى صورة ضوء ، على سبيل المثال ، والتى تنطلق عندما يعترى بعض الجسيمات مثل الالكترونات الموجودة داخل ذرة فقد مستمر بصورة فعلية لطاقته . والفوتونات التقديرية التى سمح لها بالانطلاق وبعد ذلك الامتصاص ثانية بسبب مبدأ عدم اليقين ، هى الفوتونات ذاتها المسئولة عن القوة الكهرومغنطيسية . وبدون مبدأ عدم اليقين ، ستكون طاقة اى الكترون ثابتة بصورة مطلقة فى أى وقت ، وعلى ذلك فلن يكون الالكترون قادرا على اطلاق الفوتونات المطلوبة لحمل القوة الكهرومغنطيسية .

وما يصدق على حاملات القوة الكهرومغنطيسية ، يصدق أيضا على الجليونات والجرافينونات وجسيمات W و Z التى تحمل القوى الأساسية الأخرى . وتنشأ هذه الجسيمات وتدمر بفضل مبدأ عدم اليقين وفى نطاقه . فلو كان العالم الدقيق محتوما بشكل كامل وغير مصحوب بعدم يقين ، لما أمكن للجسيمات الحاملة للقوة أن تنشأ ، وعلى ذلك ، فبدون وجود مبدأ عدم اليقين فى قلب العالم الدقيق ، فلن تكون هناك قوى أساسية . لا تدع أى أحد يقول لك ، كما يحاول البعض أن يقول ، ان ميكانيكا الكم ليست بذات صلة بعالمنا اليومى . فبدون تأثيرات ميكانيكا الكم لن تكون هناك جاذبية ولا كهرومغنطيسية ، ولن توجد قوى نووية ضعيفة وقوية ، ولا كيمياء ولا بيولوجيا ، ولا حتى أنت ،

## هل مات مذهب الحتمية ؟

ان حياتنا تبدو وكأنها وسط خضم من احداث تتقاذفها ، أفعال الآخرين ، وحالتنا الصحية ، والطقس ، الى غير ذلك من أمور يبدو أنه من رابع المستحيلات التحكم فيها أو التكهن بها بصورة مطلقة . وبرغم ذلك نشعر بشكل بديهى ببعض القدرة للسيطرة على هذه الأحداث ولأخذ قرارات ربما تغير بعض الأوجه الصغيرة من هذه الدوامة ، لاجبارها نحو مسارات أقرب لميولنا .

ان فهمنا الظاهرى لهذه الحالة التى تبدو طبيعية قد تلقت ضربة شديدة عندما بدأ علم الفيزياء يزدهر بحق خلال القرون القليلة الماضية. فقد بدا الكون فى ذلك الحين انه مكون من جسيمات صلبة دقيقة وموجات من الطاقة المشعة ، التى تنتقل وتتفاعل وفقا لقوانين محددة بدقة .

فكل التغير الذي يحدث حولنا وداخلنا ، بدءا من مدار الكواكب وانتهاء بدوران الالكترونات داخل الذرات ، كان يعتقد بأنه يسير وفقا لطريقة جبرية تماما . ونشأت فكرة أنه لو استطاع أحد أن يعرف وضع وحالة حركة كل جسيم فى الكون ، يمكنه حينئذ التنبؤ بكل الأحداث المستقبلية بدقة لا تخطىء . ونشأت الحتمية العلمية منتصرة من مستنقع البديهة البدائية ، واقترحت أنه لا يوجد شيء يمثل الصدفة ، ومن المحتمل الا يوجد شيء يمثل الارادة الحرة — لا شيء سوى كون يسير بنظام رتيب كالساعة ، ينتشر حثيثا فى اتجاه مساره المحتوم .

وبطبيعة الحال ، لم يكن هناك شيء بهذه البساطة . فالعديد ، بل حتي معظم الظواهر المحيطة بنا ، تظهر بصورة معقدة جدا ، حتى يبدو من الصعب أن يكون تطورها محتوماً بشكل كامل بواسطة ظروف مسبقة ، ومن الأسهل اعتبارها « عشوائية random » أو « هيولية chaos » (٣) نوعا ما . غير أن أحد دروس العلم المتعلق بالهيولية وهو ما نسميه بالسلوك الهيولى chaotic يمتلك بحق حتمية متضمنة ( لكن على صورة الحتمية التى سيرد شرحها فى الفقرات التالية ، لا الفقرات السابقة ) ، لكنا نجد من المستحيل التنبؤ بما سوف تتبعه المسارات المحتومة المسماة بالنظم الهيولية . ويعتبر علم التعقد والهيولية خارج نطاق هذا الكتاب . فالرسالة الأساسية لنظرية الهيولية ، هى أنه ما يبدو من تصرفات عشوائية وسلوك هيولى داخل ما يبدو أنه نظم معقدة ، قد يكون فى الحقيقة محكوما بعمليات حتمية بسيطة جدا ، لكنها بالغة الحساسية للتغيرات الطفيفة فى الحالات الأولية . فلم يكن علم الهيولية هو ما أدي الي السقوط المفاجيء للحتمية ؛ بل ان مدلوله العميق يمكن أن يستخدم فى تقوية الاعتقاد بالحتمية المتضمنة حتي فى الأحداث بالغة التعقد . أما التهديد الحق للحتمية فقد كان من ناحية ميكانيكا الكم .

فالحتمية المستأثرة ، سواء أكان يمكن توقعها أم لم يمكن ، كان لها عهد طيب ، لكن ميكانيكا الكم استطاعت أن تهزمها فى عقر دارها ، وتتركنا حيارى فى البحث عما يجب أن يحل محلها . وبطبيعة الحال ، فقد حدث السقوط المفاجيء للحتمية بسبب مبدأ عدم اليقين . وتخبرنا العقيدة الأساسية لميكانيكا الكم هذه ، بأن وضع وحركة جسيمات المادة غير محددين تحديدا صارما . فهى تقول لنا بأنه يوجد عدم يقين أصيل وكامن بالنسبة لسلوك بعض الأشياء ، تلك التى يجب أن تترك دائما بعض الشك بالنسبة لمسارات أحداثها المستقبلية . غير أن ميكانيكا

الكم لم تهدم الحتمية تماما ، حيث انها تحتفظ بحالة جيدة بالاحترام فى صورة جديدة فى « الحتمية الاحتمالية probabilistic determination » يعنى أنه ، بالرغم من أن المسار الدقيق للأحداث المستقبلية قد لا يمكن تحديده بدقة ، فان احتمالية حدوث نتائج معينة تتبع مواقف معينة ، يتحدد بصورة دقيقة جداً .

افترض أننا اهتممنا بسلوك أحد الإلكترونات ، على سبيل المثال . فسوف تخبرنا الحتمية الكلاسيكية بأنه اذا توفرت معلومات كافية عن حالة حركته وبيئته ، فسوف نستطيع القول بيقين مطلق ، أن الالكترون سيفعل هذا الشىء ، بدلا من ذاك الشىء . وتبطل ميكانيكا الكم هـذا اليقين ، لكنها تستبدله بيقين كامل من احتمالية أن يقوم الالكترون بهذا أو ذاك . وقد تدلنا ، على سبيل المثال ، أن نسبة احتمال أن يقـوم الالكترون بهذا الفعل هى ٧٠٪ ، ونسبة احتمال أن يقوم بالشىء الآخر، هى ٣٠٪ . وسوف لا يفيدنا هذا كثيراً فى توقع سلوك أحد الالكترونات بمفردها ، أو حتى عدد قليل من الالكترونات ؛ ولكن اذا افترضنا وجود عدد كبير جداً من الالكترونات المتشابهة ، بلايين الالكترونات ، على سبيل المثال ، يمكننا أن نتوقع بدقة كبيرة أن ٧٠٪ منها سوف تقوم فى النهاية بهذا العمل ، فى حين أن الـ ٣٠٪ الباقية سوف تقوم بعمـل الشىء الآخر بشكل مطيع .

وعلى ذلك ، فهل ماتت الحتمية ، أم ماذا ؟ فاذا كان التفسـير المفضل لميكانيكا الكم صحيحا ، فان الحتمية حينئذ تكون قد ماتت بالفعل بالمفهوم الشامل القوى ، الذى كانت تستخدم به فى يوم من الأيام . فسلوك الجسيمات الفردى ليس ثابتا بشكل دقيق ، وكذلك ، لا يمكن تحديد مصيرها بدقة مقدما . غير أن مبدأ الحتمية مازال نابضا بالحياة ، فى صورة حتمية عملية فعالة أو يومية فى أنحاء العالم الكبير نسبيا الذى نسكنه . ويرجع السبب فى بقاء الحتمية بهذه الصورة المتغيرة أساسا الى أن معظم الأحداث التى ندركها حولنا ، هى نتيجة لتأثيرات عدد هائل من الجسيمات المتشابهة يجرى عرضها فى مواقف متشابهة . ومن الوجهة العملية ، على سبيل المثال ، فاننا متأكدون بشكل مطلق أننا لو فتحنا قارورة محتوية على غاز موجود تحت ضـغط عال ، فان الغاز سيهرب من القارورة وينتشر فى البيئة المحيطة ، وذلـك لوجـود احتمالية كبيرة فى أن حركة جسيمات الغاز سوف تجعلها تنتشر بدلا من بقائها فى مواضعها . وتوجد من حيث المبدأ أكثر من طريقة أخرى لحدوث الانتشار ، بدلا من أن يبقى الغاز على حالته ، لذا فالانتشار

هو ما نتوقع أن يحدث لا محالة ، وعلى ذلك ، يعتبر سلوك الغاز ، من الوجهة العملية ، سلوكاً حتمياً ، لكنه من الخطأ تماما أن يقال ان الحتمية المطلقة تطبق نتيجة لذلك على النظام ، فهناك احتمالية غاية فى الضآلة ، ولكنها مؤكدة الوجود ، فى أن حركة جسيمات الغاز قد تتصرف بصور غريبة ، كأن تتركز فى بعض الأماكن الدقيقة الأعلى ضغطا . وانه من الصواب القول بأن احتمالية هذه الأمور هى من الصغر ، لدرجة تسمح لنا أن نستمر فى ملء وفتح الأوعية سنوات بعد سنوات ، دون أن نتوقع حدوثها ، اللهم الا كحالات متفرقة على مدى بلايين السنين .

ان سلوك الغازات والسوائل والأجسام الصلبة حولك ، وتقدم الكيمياء بداخلك ، يظهر حتمى بكل دقة ، لأن كل شىء تلاحظه تقريبا ، كتأثير فردى ، هو فى الحقيقة نتيجة تراكمية لعدد كبير من التفاعلات على مستوى الجسيم . وعلى ذلك فقد ماتت الحتمية المتوجة القديمة ، بينما لا تزال الحتمية الفعالة فى عالم الحياة اليومية باقية .

## ربط الأجزاء بالكل

هناك لغز واحد رئيسى تركته ميكانيكا الكم ، وهو اللغز الذى لم أشر اليه بعد ، ومع ذلك يجب أن نعطى عن الأقل فكرة موجزة عنه . فهو يشكل تحدياً أساسياً لنظرتنا التقليدية عن الكون ، وخصوصاً لميلنا لمحاولة تفهم الأشياء من خلال اختزالها الى أجزائها الدقيقة . فهو يقترح اتصالا ضمنيا بين أجزاء الكون عبر مسافات شاسعة من الزمكان ، وهو ما لم يستطع أحد أن يفسره حتى اليوم :

ولكى نتلمس وجود اللغز ، فلنأخذ فى الاعتبار اثنين من فوتونات الضوء منبعثين فى آن واحد من اتجاهين متقابلين من بعض المصادر المعروفة . وسرعان ما تصبح الفوتونات المندفعة بسرعة الضوء متباعدة عن بعضها البعض بشكل مذهل ، وتبعا لنظرة تقليدية عن الأمور ، يصبحان غير متصلين تماما . غير ان المعالجة الرياضية لميكانيكا الكم تقول انهما يظلان مرتبطين بطريقة ما ، بطريقة محيرة تماما ، بمقتضاها فان نتيجة قياس على أحد الفوتونات ، يمكن أن يؤثر لحظيا فى نتيجة قياس يجرى على الفوتون الآخر . والنقطة الحاسمة هى أن النتيجة الموجودة لأحد الفوتونات ، تحدد فى الحال النتيجة التى يجب أن توجد فى الفوتون الآخر ، لأن نتائج القياسات على كل من الفوتونين مترابطة بصورة رياضية دقيقة . وقد تم تأكيد هذا التأثير المثير للارتباك

بالتجربة (٤) ، ولم يوجد أحد يعرف على وجه اليقين ، كيف يفسر أو يشرح هذا الحدث . ويذهب هذا الرأى الى انه حتى لو سمح للفوتونين بأن ينتقلا الى موضعين متقابلين من المجرة ، فسوف يظلان مرتبطين بطريقة حميمة ، بحيث انه ما يحدث لأحدهما ، يحدد فى الحال حالة الفوتون الآخر . ويعتبر الوصف الكامل لهذا التأثير والتجارب التى توضحه صعبة الفهم ، ولا يمكن الخوض فيها هنا ، غير أن رسالته المهمة ، يمكن نقلها وفهمها بسهولة : تكشف ميكانيكا الكم عن روابط ملغزة بين أجزاء تبدو متميزة ظاهريا فى الكون ، وهو ما يجب أن يجعلنا حذرين من عادة تحليل الأشياء والأحداث عن طريق أجزائها الدقيقة ، بينما نفقد غالبا فكرة الكل المتكامل والأكثر تعقدا .

ومن المناسب أن نختتم هذا الفصل بتحذير قوى ، وهو أن المعنى الحقيقى لنتائج ميكانيكا الكم يعتبر موضوع جدل كبير . لقد ذكرت هذا بالفعل ، لكنه يستحق التأكيد عليه ، يجادل العديد من الفيزيائيين فى التفسير التقليدى لمكانيكا الكم التى شرحناها فى هذا الفصل . ويعتقد البعض أن نظريتنا عن ميكانيكا الكم لم تكتمل تماما ، وعندما يحدث ذلك ، فسوف تنتهى العديد من التناقضات والأشياء المبلبلة للفكر ، خصوصا تلك الأفكار المتعلقة بازدواجية الجسيم — الموجة ، وهو المعنى الحقيقى لسمات الأشياء الشبيهة بالموجة ، التى اعتدنا أن نعتبرها كجسيمات ، وعلى الأقل بعض السمات الاحتمالية للنظرية كما تفسر فى الوقت الحاضر . ولم يكن العديد من الفيزيائيين الذين ابتكروا للمرة الأولى نظرية ميكانيكا الكم راضين عن تفسير النظرية ، التى أصبحت فى النهاية من النظريات السائدة . وقاوم ألبرت آينشتين ، الفيزيائى العظيم فى عصرنا ، وربما فى أى عصور أخرى ، التفسير اللايقينى والاحتمالى لنظرية الكم حتى أواخر أيام حياته . وقد أعلن مرارا عباراته الشهيرة : « ان الله لا يلعب بالنرد » . وسوف يشير العديد من الفيزيائيين المحدثين ( الأقل منه منزلة ؟ ) الى دفق من النتائج التى يمكن أن تستخدم لمناقضة هذه الحجة ، ولكن الى أن يستقر الجدل فى المجتمع الفيزيائى على قبول كل شىء ، فمن الحكمة الأخذ بشك آينشتين . ولما كان الجدل لم يستقر بعد ، فقد ذكرت فقط بعض النتائج الأكثر ارباكا عن ميكانيكا الكم ، دون الدخول فى مناقشات مطولة ، فيما يمكن أن تعنيه فى الحقيقة . وتعتبر ميكانيكا الكم من نظريات الفيزياء الناجحة بشكل مذهل ، ولا يوجد شك حولها . فهى تسمح بالتنبؤ بنشاط الكون وتفسيره بصورة أفضل من الصورة التى كان يفسر بها من قبل ؛ بينما لا يزال التفسير القياسى لما تعنيه بالنسبة للكون أمرا غامضا ، وقد تظل النظرية نفسها غير كاملة من بعض الأوجه المهمة .

الفصل الثامن

# الخلـــق

## CREATION

---

خلق كل انسان من اتحاد حيوان منوى ذكرى ببويضة أنثوية ، ثم تطور جنينا داخل الرحم، ثم ولد ثم كبر وعاش فترة من العمر، بعد ذلك تبدأ صحته فى التدهور تدريجيا ، الى أن يحين أجله المكتوب . فنحن كبشر لنا بداية ، وفترة وجود وجيزة فوق الأرض وبعدها النهاية ؛ ونجد كافة الكائنات الأخرى من حولنا لها بداية وفترة وجود ثم نهاية محتـــومة . فمن الطبيعى اذن أن نفكر فى بداية كل شىء ، وفى نهاية كل شىء ، فنطرح أسئلة تتعلق بأصل ومصير الكون كله . ماذا يقول العلم عـــن هذه الأسئلة ، أكبر الأسئلة جميعا ؟

ان الفائدة العظيمة من اتباع الأسلوب العلمى كوسيلة لاستقصاء الأسباب ، هو انه يسمح لنا بتوقع مجرى الأحداث التى نشاهدها بدقة كبيرة ، والتى قد لا نستطيع أن نجربها بصـــورة مباشرة . وبطبيعـــة الحال ، يتضمن ذلك عادة توقع سير الأحداث التى ستقع فى المستقبل، حيث أن الأحداث المستقبلية هى الأحداث التى نرغب فى التأثير عليهـــا أو استغلالها . غير انه من الممكن أيضـــا أن نتفحـــص عالم الوقت الحاضر ، لنستقرىء منه الماضى ، فنستكشف ما كانت عليه أحـــوال الأشـــياء .

وعندما نرصد النجوم والمجرات التى تحيط بنا ، يتكشف لنا أحـــد الحقائق الرئيسية ؛ انها تتباعد عن بعضها البعض بسرعة كبيرة جدا . والنتيجة الواضحة التى نكتشفها من استقراء أحداث الزمن الماضى ، هى أن النجوم والمجرات لا بد أنها كانت متقاربة بقدر كبير ، وسوف

نجد تقاربا بصورة أكبر كلما واصلنا استقراء الماضي السحيق . وندرك بالمنطق المجرد أن استمرارنا في الاستقراء ، سيقودنا في النهايـــة الى زمن كانت فيه مادة الكون جميعها متركزة في حجم واحد صغير جداً في زمن ومكان واحد . هذا الزمن والمكان هو اللحظة التي أسميت « الانفجار العظيم Big Bang » . والنتيجة المحتومة التي يمكن أن نستشفها من التمدد الحالي للكون ، هي أن الكون كان في زمن ما في حالة كثيفة تفوق التصور ، انفجر بعدها للخارج ليصنع الكون الشاسع الذي نراه الآن . وبطبيعة الحال ، لما كان لا يوجد شاهد على الانفجار العظيم فسوف يظل هذا الحدث مجرد وصف نظري للأيام الأولى لكوننا . غير أن نظرية الانفجار العظيم تعتبر الى حد بعيد التفسير المقبول لكيفية بدء وتطور الكون ، على الرغم من وجود جدل وتخمين شديدين بخصوص العمليات الدقيقة التي حدثت عندما بدأ الكون يتطور منذ بداياته الأولى . وفي الواقع، توجد عدة نظريات منافسة لنظرية الانفجار العظيم ، ويعارض البعض منها استخدام مصطلح الانفجار العظيم بكل ما في الكلمة من معنى ، في حين يصف الجميع الكون بأنه قد نشأ من حالة بدائية دقيقة وكثيفة بشكل يفوق التصور ، الى الكون المتمدد الضخم الشاسع الذي نعيش فيه الآن.

وكان تمدد الكون أيضا ايذانا ببدء جنوحه نحو البرودة ، بدءا مـــن دوامة في حالة لا تتصور من السخـــونة ، ونشـــاط غايـــة في العنف للجسيمات دون الذرية ، الى ذرات ثم الى نجوم وكواكب زماننا ومكاننا. وقد نشأت الذرات الأبسط نوعا ما ، كالهيدروجين والهليوم بعد الانفجار العظيم ، وقبل تكون أية نجوم أخرى . ونشأت بعد ذلك ذرات أخرى عن طريق اندماج الذرات الأبسط في قلب النجوم الشديدة السخونة ( ولكن لا تقارن بالسخونة التي عليها الكون بعد الانفجار العظيم مباشرة ) ، أو عن طريق الاندماجات التي حدثت أثناء الموت الانفجاري لبعض النجـــوم ، مثل انفجار المستعر الأعظم ، أو السوبرنوفا Super Nova . ويشمل تاريخ كوننا وفقا للفيزياء الحديثة على نظرية الانفجار العظيم ، فمرحلة البرودة الكونية ، فاندماج بعض أجزاء الغاز البدائي في صورة نجـــوم وكواكبها الدائرة في أفلاكها ، وبعد ذلك التمدد المستمر للكون ، في الوقت الذي تحترق وتموت فيه بعض النجوم ، وتظهر بالوجود نجوم جديدة .

ويعرف بعض الناس الانفجار العظيم بأنه لحظة الخــلق ، تلـــك اللحظة التي جاءت فيها كل المادة والطاقة والزمكان للكون الحالي الى الوجود . ويعتبر البعض الآخر أن الانفجار العظيم مجرد إحدى نهايات عملية متكررة من التمدد والانكماش التي يمر بها الكون للأبد ، دون أن تكون له بداية أو نهاية . وتؤكد وجهة النظر الثانية على أن الكون الحالي

سيستمر فى التمدد لفترة من الزمن(تلك الفترة التى قد تصل لبلايين السنين الى أن يؤدى الشد الجذبى المتبادل بين كل أجزاء المادة الموجودة بالكون الى بطء التمدد ثم توقفه ، ثم تنعكس الكرة . وحينئذ سوف يندفع كل شىء نحو الداخل بسرعة تعاجلية ، الى أن يحدث بعد عدة بلايين أخرى من السنين « الانسحاق العظيم Big Crunch » عندما تنضغط كل المادة والطاقة والزمكان مع بعضها البعض للحظة يبدأ بعدها انفجار عظيم آخر ، ينفجر نحو الخارج مرة أخرى ، ليصنع جيلا جديداً من النجوم والكواكب ، والمؤلفين والكتاب والقراء ، وعلماء كونيات يتأملون فى الطبيعة . وهناك تماثل طريف بين الانفجار والانسحاق والانفجار والانسحاق ... ذلك السيناريو ، يجعل الأمر يستهوينى من غير شك ؛ غير أن هذه المسائل سوف تقررها الأرقام ، وليس الافتتان الجمالى . ولا يعرف الفيزيائيون حتى الآن ما اذا كان الكون به ما يكفى من المادة ، التى تجعله ينهار على نفسه فى صورة انسحاق عظيم ، أو ما اذا كان سيستمر فى التمدد للأبد . وعلى ذلك ، فالمصير النهائى للكون غير مؤكد ، وعلينا أن ننتظر اجابة اكثر تحديدا ، أو ربما مجرد أن ننتظر ونرى ما يحدث .

فاذا كان سيناريو انفجار وانسحاق الكون صحيحا ، حينئذ سيكون من غير المعقول التفكير فى مسألة أصل الكون ، حيث قد لا يكون له بداية أبدا ، فقد تكون تلك هى حالته التى كان عليها دائما . غير أن الفيزيائيين يهتمون بمعرفة بداية كل شىء ، حيث تقدم لهم الاختبار النهائى لنظرياتهم . ويعتبر « علم خلق الكون » ، من العلوم المثيرة الزاخرة بالنماذج العديدة مختلفة التفاصيل ، المتوفرة من أجل وصف كيف بدأ خلق كل شىء ، اذا ما كانت له حقا بداية . والأمر أبعد من أن يكون قد حسم ، الا أن واحدة من أهم النتائج الأولية المذهلة لهذا العمل ، تستحق الأخذ بعين الاعتبار : فقد جعل نفاذ بصيرة ميكانيكا الكم أنه من الجدير بالاحترام التحدث عن الجدوى الفيزيائية ، لكون ينشأ بصورة عفوية ، لا تحركه سوى الظواهر التى ندرك كنهها تماما .

يكمن السر فى مبدأ عدم اليقين لميكانيكا الكم . وينص هذا المبدأ فى احدى صوره ، على أن أى شىء على الاطلاق يمكن أن يحدث ، أى شىء أيا كان يمكن أن يخلق ، على شرط أن تكون طاقته المضروبة فى الزمن الذى يعيشه أقل من كمية دقيقة جدا تعرف بـ « ثابت بلانك » . تلك العلاقة التى تسمح بظهور الجسيمات الافتراضية ، التى ناقشناها فى الفصل السابع ، وتجعلها تنشىء وتنقل القوى الأساسية.

ومن الواضح أن الكون الآن قد دام لفترة زمنية كبيرة جدا ، ويظهر أنه يحتوى على كمية ضخمة من الطاقة ، الا أن هناك مفاجاة تنتظرنا ، اذا فكرنا فى هذه الطاقة بطريقة ثاقبة • فقـد بدا فى النهـاية أن بعض الطاقة ، تلك الطاقة المختزنة داخل كتلة المادة بصفة عامة ، يجب أن تخصص لها قيمة موجبة عندما تعالج بصورة رياضية ؛ فى حين يجب أن تخصص قيمة سالبة للطاقة الجذبية المصاحبة لوضع النجوم والمجرات فى الفضاء . وهناك توقع قوى فى أن كلا نوعى الطاقة موجودان بكميات متساوية ، ومن ثم ستبطل احداهما الأخرى بشكل علم ! ماذا كان تصور ذلك عصيا عليك فتصور كرة مطاطية مطت فى بعض المواضع وضغطت فى مواضع أخرى ، فقد تصبح الكرة ممتلئة بالأنماط المتغيرة من المط والانضغاط ، ومع ذلك فعندما يتقابل اثنان من هذه المنـاطق ، فـان الانضغاط يمكن أن يبطل المط ، فلا يترك مطا ولا انضغاطا على الاجمال .

وعلى ذلك ، افترض أن طاقة الكون عبارة عـن شىء من هـذا القبيل ، ذى كميات متساوية من الطاقة الموجبة والطـاقة السالبة ، تلغى بعضها البعض ، لينتج كون ذو طاقة تساوى «صفرا» على الاجمال . ووفقا لمبدأ عدم اليقين ، يمكن أن تظهر ظاهرة الطاقـة الصفريـة الاجمالية بشكل تلقائى ، وتدوم لمدة كما تشاء ، حيث ان حاصل ضرب صفر الطاقة ، فى أية مدة من الزمن لا يمكن أن يزيد عن قيمـة ثابت بلانك ، مهما كان مقدار صغر هذه القيمة .

ويبدو بالفعل أن صور الجسيمات والطاقة الأخرى تأتى وتذهـب وفقا لما يمليه عليها مبدأ عدم اليقين . وتعرف هذه الأحداث بـ « التقلبات الكمية Quantum Fluctuation » ، وعادة ما تشتمل على ظواهـر ذات طاقات دقيقة جداً ، تدوم لفترات زمنية غاية فى الصغر ، ولكن فى حالة ما اذا كانت الطاقة الاجمالية للكون « صفرا » فعلا ، حينئذ فيمكن أن تمثل ببسـاطة أكبر تقلب كمى على الاطلاق متمثلا فى تدفق ضخم من النشاط ، تفجر فى أحضان الخواء البارد للعدم .

وبطبيعة الحال ، فهناك مشكلة مع كل هذا ، أو على الأقل تنشأ مشكلة لدى أى شخص يستهويه مثلما يستهـوى أغلب الفيزيائيين ، لاعتبارها تفسيرا لعملية الخلق ، بدل كونها مجرد وصف له • والمشكلة هى أنها جميعها تفترض مسبقا وجود شىء ما ، يمكن أن يحدث فيه ذلك « التقلب الكمى » ، الذى يتوقع منه أن يكون قد تسبب فى وجود كوننا . فالتقلبات الكمية التى تحدث طوال الوقت ، والتى تم تحديدها بالفعل ،

لا تعتبر تقلبات لعدم مطلق ، بالمعنى الدقيق للكلمة ، لكنها تقلبات فراغ الزمكان ، الذى يعتبر بالنسبة للفيزيائى شيئا مختلفا تماما عن العـــدم المطلق . والتفكير فى أصل الكون ، على أنه تقلبات لعدم مطلق ، يثير فقط أسئلة أخرى عما نقصده بالفعل بالعدم فى هذا السياق . ما الذى أعطى هذا العدم القدرة على أن يتقلب ؟ هل يمكن لفكرة العدم المطلق المتضمنة على هذه القدرات أن تستمر بأية حال ، أم أن امتلاك القدرة على الخضوع لظاهرة التقلب يمنعنا من تسميته عدماً ؟

ربما نشأ كوننا كحالة من حـــالات تقلب كمى ، أو أنه متذبـــذب بلا نهاية بين الانفجار والانسحاق ؛ ولكن أيا كانت الاجابة الحقيقية ، فانى أشعر بأنها اجابة ستظل بعيدة الاحتمال أن ترضى معظمنا ، عندما نفكر فى وجود أو عدم وجود أصل للكون على الاطلاق . وأنا شخصيا أعتقد أنه حتى اذا كانت نظرية التقلب الكمى لأصل الكون الذى نراه حولنا صحيحة ، فان غموض الخلق الأساسى ، اذا ما كان هناك خلق أساسى ، سيظل هكذا — مجرد غموض ، فالغموض لم يزد عن أن تحرك خطوة للوراء ، الى النقطة التى نفشل عندها فهمنا . وأنا أعتقد أن وصفا رياضيا لأصل المادة والطاقة من لا شىء ، لا يمثل تفسيرا لهذه العملية . ووجهة نظرى الشخصية هذه مبنية على الحالة الراهنة لعـــلم خـــلق الكونيات ، وأنا متأكد تماما من أن العديد من الفيزيائيين سيرفضون بشدة فكرة أن أوصافهم الناجحة للأحداث لا توجـد لها تفسـيرات . ويمكنك أن تنقب فى بعض الكتب التى تتناول الموضوع ، اذا أردت أن يكون لك رأى شخصى فى هذا الشأن .

الفصل التاسع

# الذرات

## ATOMS

---

نحن نعيش فى عالم تصنعه الذرات ، ونحن كجزء من هذا العالم تتكون اجسامنا من الذرات . وغالبا ما تتحد الذرات فى جسيمات أكبر تسمى بالجزيئات ، او تتغير تغيرا طفيفا الى جسيمات تسمى بالأيونات، فى حين يتكون تنوع وتعقد الأشياء الموجودة فى عالمنا من تلك الوحـــدات البنائية التى نسميها الذرات . والكيمياء هى الاسم الذى نطلقه عــلى التغيرات التى تحدث عندما تتفاعل الذرات والجزيئات والأيونات مــع بعضها البعض . وعلى ذلك تعتبر الذرات الجســيمات الأســاسية للكيمياء ؛ لكنها ليست بالجسيمات الأساسية بالمعنى الحقيقى ، حيث تتكون الذرات نفسها من أعداد مختلفة من ثلاثة جسيمات دون ذرية ؛ وهى البروتونات والنيوترونات والالكترونات . ولكى نفهم عالم الكيمياء، لا نحتاج الى التنقيب فى المادة الى درجة أعمق من مستوى البروتونات والنيوترونات والالكترونات ، ولكن بطبيعة الحال يمكننا أن نعبر أغوارا أعمق ، ليس بالنسبة للالكترونـات ، ولـكن بالنسبة للبروتـونات والنيوترونات ، التى يتكون كل منها من ثلاثة كواركات .

وعلى ذلك ، تعتبر البروتونات والنيوترونات والالكترونات المادة الخام للكيمياء ، وهى التى تدخل فى التفاعلات الكيميائية ، حيث تشكل هذه الجسيمات الوحدات البنائية لكل الذرات التى تعتبر الوحــدات البنائية لجميع المواد الكيميائية . وعندما يختبر الكيميــائيون الــدور الرئيسى للذرات فى عالم الكيمياء ، يجب أن يتنـاول بحثهم داخل وخارج الذرة . فيجب أن يبحثوا داخل الذرة للكشف عن طبيعتها الداخلية ، التى تجعلها تتماسك وتعمل ؛ ويجب أن يبحثوا خــارجها ، ليختبروا ما يحدث عندما تتلاقى الذرات فتتفاعل مكونة مواد كيميائية جديدة . فعالم الكيمياء كله مشمول بهذه الفكرة .

وسوف نبدأ بالنظر أولا نحو الداخل ، لكى نختبر البروتونات والنيوترونات والالكترونات ، ونحاول فهم طبيعتها وكيفية سلوكها .

وبمقارنة البروتون بالأشياء المألوفة لنا نجد أن كتلته وحجمه متناهيان فى الصغر ، فالبروتونات لها كتلة تساوى على نحو تقريبى وحدة كتلة ذرية واحدة ، وهى تساوى بالوحدات المعروفة لنا ١٫٦٧ × ١٠ −٢٧ كيلوجرام ، ١٠ −٢٧ صيغة رياضية مختصرة للتعبير عن كسر عشرى ذى سبعة وعشرين صفرا بين الرقم المضروب فيه والفاصلة العشرية ) . اما من ناحية الحجم فيبلغ قطره ١ × ١٠ −١٥ مترا ، وهناك اختلافات طفيفة بين كتلتى وحجمى البروتون والنيوترون ، ولكنها من الصغر بالنسبة لنا ، بحيث لا تشكل أمرا ذا شأن . وعلى الرغم من أن البروتونات والنيوترونات صغيرة جداً بالمقارنة بأحجامنا وأوزاننا ، الا أنها تعتبر كبيرة جدا بالمقارنة مع الالكترونات ، حيث تبلغ كتلة الالكترون ٩٫١٠٨٣ × ١٠ −٣١ كيلوجرام ، والتى يتضح معناها اذا ما وضعناها فى صورة رقمية ، حيثتكون كتلة البروتون أثقل من كتلة الالكترون بـ ٥٤٥ الف مرة . وتحتوى الالكترونات على قدر قليل من المادة ، حتى يكاد الا يكون لها مادة على الاطلاق ، ومع ذلك سوف نرى أنها المسئولة عن كل ثراء وتنوع عالم الكيمياء .

ويكمن الاختلاف الجوهرى بين مكونات الذرة الثلاثة ، البروتونات والنيوترونات والالكترونات — ذلك الاختلاف الذى يقع فى صميم كل التغير الكيميائى — فى نوع الشحنة الكهربية التى يحملها كل جنيم منها . فالبروتون يحمل شحنة كهربية موجبة ، ويعتبر مقدار شحنته هو الوحدة لقياس الشحنات الكهربية ، ومن ثم فانه يحمل مقداراً من الشحنة = + ١ فى حين يحمل الالكترون شحنة مساوية ولكنها مضادة لشحنة البروتون ، ومن ثم فان له شحنة كهربية سالبة تقدر بـ — ١ . بينما لا تحمل النيوترونات أية شحنات كهربية على الاطلاق ، بمعنى أنها متعادلة كهربيا : وعلى ذلك ، تعتبر البروتونات والالكترونات الجسيمات المشحونة كهربيا داخل الذرات ، وتذكر أن الأجسام ذات الشحنات الكهربية المختلفة ، كالبروتونات والالكترونات تنجذب نحو بعضها البعض بسبب القوة الكهرومغنطيسية ؛ فى حين أن أجساماً ذات شحنة كهربية متشابهة مثل البروتونات أو الالكترونات سوف تتنافر عن بعضها البعض بتأثير نفس القوة وتعتبر هذه القوى التجاذبية والتنافرية ، بين البروتونات والالكترونات هى المسببة لكل التغيرات التى نسميها كيمياء . فهى تعمل على تدافع وتجاذب البروتونات والالكترونات للذرات ، فتتخذ ترتيبات وتكوينات

جديدة خلال التفاعلات الكيميائية . ويمكن أن تختزل الكيمياء جميعها الى رقصة كهربية شديدة الاهتياج من الالكترونات الدوارة والبروتونات ؛ والالكترونات هى الراقصات اللاتى يتحركن طوال الوقت ، حيث تتعرض للدفع والجذب من مكان لآخر ، مثل الراقصات البارعات اللاتى يتنافس عليهن فى صالة رقص . فقصة الكيمياء ، هى فى الأساس قصة اعادة ترتيب وضع الالكترونات .

وعلى ذلك ، تتكون الذرات من بروتونات ونيوترونات والكترونات ، ويتكون كل شيء آخر من الذرات ، ولكن كم عدد أنواع الذرات الموجودة فى الطبيعة — هل ذرة واحدة ، عشرات الذرات ، مئات الذرات ، ملايين الذرات ؟ فى حقيقة الأمر ، هناك اثنان وتسعون نوعا مختلفا من الذرات ، توجد بصفة طبيعية على سطح الأرض ، لذلك يبدأ تسلسل التعقد الكيميائى بثلاثة جسيمات دون ذرية ، والتى تتحد لتكون اثنين وتسعين نوعا من الذرات ، والتى تتحد لتكون تنوعا لا محدوداً تقريباً من المواد الكيميائية المحيطة بنا والموجودة داخل أجسامنا .

وتعرف المواد الكيميائية التى لا تحتوى الا على نوع واحد من الذرات بالعناصر ، بمعنى أن لدينا اثنين وتسعين عنصراً من العناصر الموجودة بصورة طبيعية ، حيث يوجد اثنان وتسعون نوعا مختلفا من الذرات . وتسمى المواد الكيميائية التى تحتوى على أنواع مختلفة من الذرات المتحدة مع بعضها البعض بالمركبات ، وهناك عدد لا يحصى من المركبات الموجودة على سطح الأرض ، ولا توجد نهاية فعلية من المركبات الممكنة ، التى يمكن أن تتكون من خلال تفاعل الذرات من خلال عدد مختلف من الطرق والاتحادات .

ويوجد الاثنان والتسعون عنصراً ، ومن ثم الاثنان والتسعون نوعا من الذرات ، التى يتكون منها العالم مدونة فى الجدول الدورى للعناصر ( انظر شكل ٩ — ١ ) . يبدأ الجدول الدورى من أعلى الى اليسار ، بأبسط وأصغر أنواع الذرات ، وهى ذرة الهيدروجين ( والتى يرمز لها بالحرف H ) ، وننتقل بصورة منتظمة الى الذرات الأكبر والأكثر تعقيداً ، عندما نقرأ كل صف أفقى مبتدئين من اليسار ومتجهين الى اليمين ، ثم ننتقل أسفل الى الصف التالى ، وهكذا ، الا اذا وجهنا السهم للقفز الى موقع جديد . لذا يأتى بعد الهيدروجين النوع التالى الاكبر من الذرات ، وهو ذرة الهليوم (He) ، وتتبعها ذرة الليثيوم (Li) ، فالبيريلليوم (Be) فالكربون (B) فالبورون (C) ، وهكذا حتى نهاية الجدول الى أن نصل الى ذرة اليورانيوم (U) ، وهى التى رقم عنصرها ٩٢ ، وتتكون من اكبر واعقد الذرات الموجودة بصفة طبيعية على سطح الأرض .

( وهناك عدد قليل من الذرات الموجودة بصورة غير طبيعية ، والتى يتم تخليقها في المعمل بطرق اصطناعية ) .

ويجب أن نقوم باستكشاف تركيب الذرات بشىء من التفصيل ، ونأخذ فى اعتبارنا الاختلافات الموجودة بين الأنواع المختلفة . وأفضل مكان نبدأ منه ، هو من خلال أبسط أنواع الذرات ، وهى ذرة الهيدروجين .

| 1<br>H<br>1 | | | | | | | | | | | | | | | | | 2<br>He<br>4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3<br>Li<br>7 | 4<br>Be<br>9 | | | | | | | | | | | 5<br>B<br>11 | 6<br>C<br>12 | 7<br>N<br>14 | 8<br>O<br>16 | 9<br>F<br>19 | 10<br>Ne<br>20 |
| 11<br>Na<br>23 | 12<br>Mg<br>24 | | | | | | | | | | | 13<br>Al<br>27 | 14<br>Si<br>28 | 15<br>P<br>31 | 16<br>S<br>32 | 17<br>Cl<br>35.5 | 18<br>Ar<br>40 |
| 19<br>K<br>39 | 20<br>Ca<br>40 | 21<br>Sc<br>45 | 22<br>Ti<br>48 | 23<br>V<br>51 | 24<br>Cr<br>52 | 25<br>Mn<br>55 | 26<br>Fe<br>56 | 27<br>Co<br>59 | 28<br>Ni<br>59 | 29<br>Cu<br>64 | 30<br>Zn<br>65 | 31<br>Ga<br>70 | 32<br>Ge<br>73 | 33<br>As<br>75 | 34<br>Se<br>79 | 35<br>Br<br>80 | 36<br>Kr<br>84 |
| 37<br>Rb<br>85 | 38<br>Sr<br>88 | 39<br>Y<br>89 | 40<br>Zr<br>91 | 41<br>Nb<br>93 | 42<br>Mo<br>96 | 43<br>Tc<br>98 | 44<br>Ru<br>101 | 45<br>Rh<br>103 | 46<br>Pd<br>106 | 47<br>Ag<br>108 | 48<br>Cd<br>112 | 49<br>In<br>115 | 50<br>Sn<br>119 | 51<br>Sb<br>122 | 52<br>Te<br>128 | 53<br>I<br>127 | 54<br>Xe<br>131 |
| 55<br>Cs<br>113 | 56<br>Ba<br>137 | 57<br>La<br>139 | 72<br>Hf<br>178.5 | 73<br>Ta<br>181 | 74<br>W<br>184 | 75<br>Re<br>186 | 76<br>Os<br>190 | 77<br>Ir<br>192 | 78<br>Pt<br>195 | 79<br>Au<br>197 | 80<br>Hg<br>201 | 81<br>Tl<br>204 | 82<br>Pb<br>207 | 83<br>Bi<br>209 | 84<br>Po<br>210 | 85<br>At<br>210 | 86<br>Rn<br>222 |
| 87<br>Fr<br>223 | 88<br>Ra<br>226 | 89<br>Ac<br>227 | | | | | | | | | | | | | | | |

| 58<br>Ce<br>140 | 59<br>Pr<br>141 | 60<br>Nd<br>144 | 61<br>Pm<br>147 | 62<br>Sm<br>150 | 63<br>Eu<br>152 | 64<br>Gd<br>157 | 65<br>Tb<br>159 | 66<br>Dy<br>162 | 67<br>Ho<br>165 | 68<br>Er<br>167 | 69<br>Tm<br>169 | 70<br>Yb<br>173 | 71<br>Lu<br>175 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 90<br>Th<br>232 | 91<br>Pa<br>231 | 92<br>U<br>238 | 93<br>Np<br>237 | 94<br>Pu<br>242 | 95<br>Am<br>243 | 96<br>Cm<br>247 | 97<br>Bk<br>247 | 98<br>Cf<br>251 | 99<br>Es<br>254 | 100<br>Fm<br>253 | 101<br>Md<br>256 | 102<br>No<br>254 | 103<br>Lw<br>257 |

الرقم الذرى
الرمز
رقم الكتلة

العناصر بعد الرقم الذرى ٩٢ لا توجد بصورة طبيعية

شكل ( ٩ ـ ١ ) الجدول الدورى للعناصر

وتعتبر ذرة الهيدروجين من الأشياء البسيطة جدا بالفعل . فهى عبارة عن بروتون يحيط به الكترون واحد ( انظر الذرة الموجودة فى أعلى شكل ٩ ـــ ٢ ) . فعند النظر الى صورة ذرة الهيدروجين هذه ، نجـد أنفسنا أمام لغز : لماذا يقع الالكترون على هذا البعد الشاسع (نسبيا) من البروتون الموجود في مركز الذرة ؟ لماذا لا يقبع الإلكترون ببساطـة بين أحضان البروتون، طالما أنه منجذب اليه بتأثير القوة الكهرومغنطيسية؟ والاجابة على ذلك هى أن الالكترون يمتلـك بعضـا من الطاقـة ، تكفى لمنعه من التهاوى تجاه البروتون . والطريقة التقليدية للتفكير فى هذا الالكترون الممتلىء بالطاقة ، هى القول بانه يجب أن يكون متحركا ، يجب أن يكون دائرا حول البروتون بطريقة اشبه بدوران الأرض حول الشمس . ويقدم لنا هذا التصور بطريقة بسيطة تفسير سبب كـون ذرة الهيدروجين بهذه الضخامة ( النسبية ، مرة أخرى ) ، على الرغم من صغر مكوناتها ـــ فنحن ننظر الى أبعاد نظام شمسى مصغر ، يحتوى على قدر كبير من الفضاء الفارغ (١) .

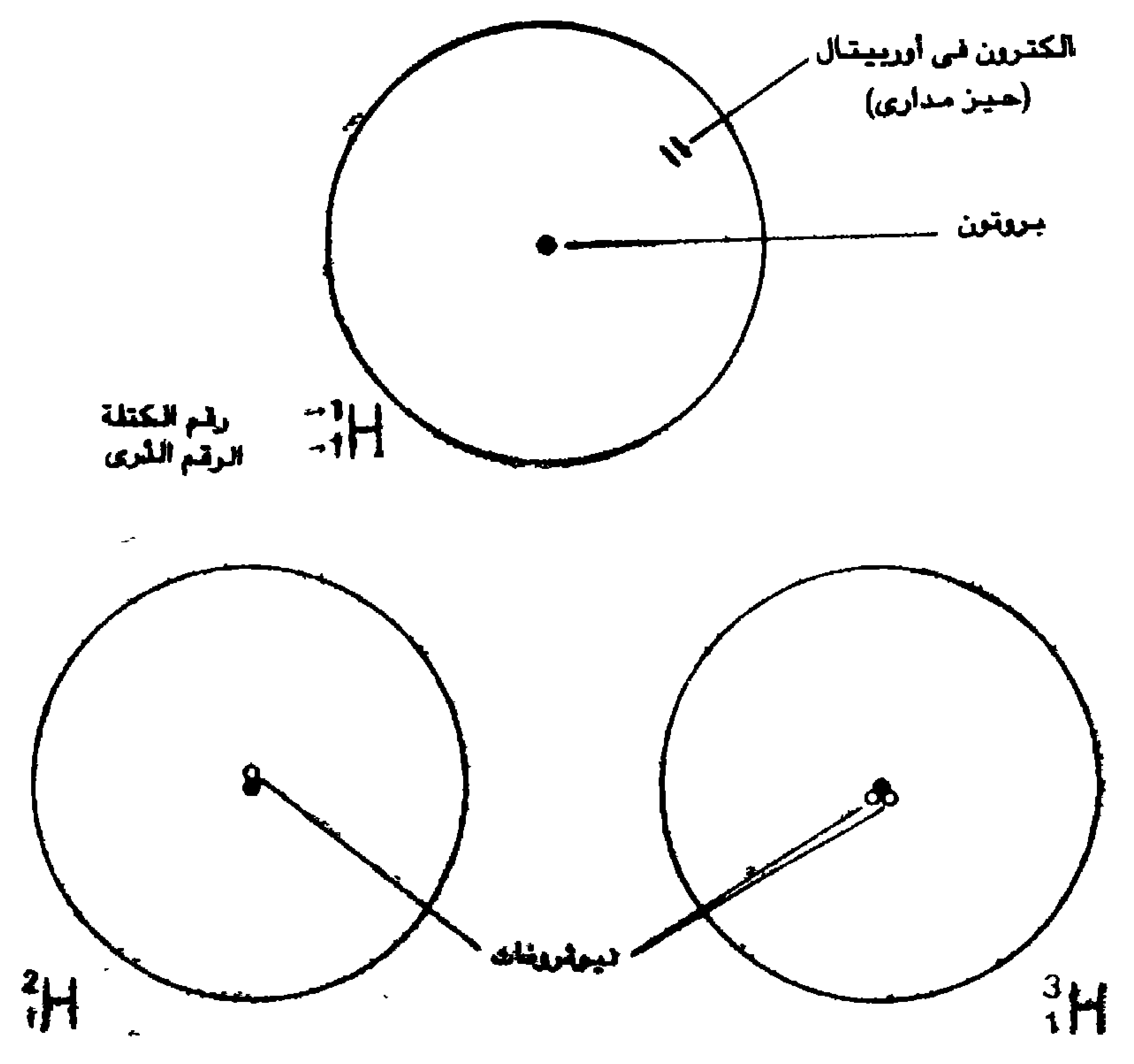
ومن المؤسف أن هذه صورة مفرطة فى التبسيط ومضللة تمـاما . وتخبرنا الكيمياء الحديثة ، والتى تأسست على قواعد ميكانيكا الكـم ، بأن نعتبر الالكترون كموجة أو اهتزازة ، متكونة امـا من « ظاهـرة الالكترون » أو من « احتمالية وجود الكترون » يشغل كل « الحيز المدارى Orbital » (٢) المبين فى شكل ( ٩ ـــ ٢ ) ، وفى الواقع يمتد بعض الشىء خارج هذا الحيز . فالحيز المدارى للالكترون هو مجرد حجم من الفراغ يحتمل تواجد الالكترون به ، وترسم حدود ذلك الحيز لتعطى احتماليـة بنسبة ٩٠٪ لوجود الالكترون فى مكان ما داخله . إذا فاحتمال وجـود الالكترون خارج هذا الحيز هى ١٠٪ على الاجمال ، ويتضاءل الاحتمال تدريجيا كلما ابتعدنا خارجه . إذا تخبرنا ميكانيكا الكم اما أن نتخلى عن فكرة الالكترون كجسم صلب صغير الحجم من المادة ، أو اذا أصررنا على استبقاء هذه الفكرة ، فلندرك أن الالكترون يجب أن يتحرك بصورة عشوائية ، بطريقة لا نستطيع أن نعرف منها على وجه اليقين مكـان وجود الالكترون ، وماذا يفعل فى اى لحظة من لحظات الزمن ، وكل ما يمكننا على الأفضل تقدير أن نقول اين من الممكن أن نجد الالكترون أو حتى من المحتمل أن يكون ، وما امكانية أو احتمال عمله . ويمكننا ، بمعنى آخر ، أن نعطى فقط وصفا احصائيا احتماليا عن سلوك الالكترون . فلذا ، عندما نبدأ بدراسة الالكترونات وانشطتها فى مجال الكيمياء ، فمن الأفضل أن نفكر فى الالكترون على كونه كامنا بطريقة ما داخل الحيز

المدارى الذى يوجد به ، ويستطيع أن يقوم بغزوات بين الفينة والأخرى عبر حدود هذا الحيز .

فلو كان فى مقدورنا أن ننكمش لنصبح بأبعاد العالم الكيميائى الصغير جداً ، وأمكننا تفحص عدد كبير من ذرات الهيدروجين ، فسوف نكتشف شيئا مختلفا قليلا فى البعض منها . ففى بعض الذرات ، يكون البروتون الموجود فى قلبها مرتبطا بنيوترون ، وفى البعض الآخر يكون البروتون مرتبطا باثنين من النيوترونات ( انظر أسفل شكل ٩ — ٢ ) . وهذان النوعان المختلفان عن ذرة الهيدروجين المعتادة نادران جداً ؛ وربما نجد واحدا أو اثنين منهما فى كل ١٠٠٠٠ ذرة من النوع الطبيعى ، لكنهما موجودان ومهمان . فهما يوضحان الفكرة العامة ، بأن ذرات بعض العناصر قد لا تكون متماثلة ، لأن عدد النيوترونات الموجودة بأنويتها قد يختلف . ولا يؤثر الاختلاف فى عدد النيوترونات بداخل ذرات أى عنصر على الخصائص الكيميائية الأساسية للذرات . فالخصائص الكيميائية ، أى التفاعلات التى يمكن أن تساهم فيها ذرات عنصر ما ، تتحدد بعدد البروتونات والالكترونات التى تحتوى عليها الذرات . والكيمياء ، هى كل ما يدور من تفاعل بين شحنات كهربية موجبة وشحنات كهربية سالبة ، ولما كانت النيوترونات من الأجسام المتعادلة كهربيا ، فليس لها تأثير حقيقى على الطبيعة الكيميائية للذرات التى تحتوى عليها ، عدا بعض التأثيرات الطفيفة والدقيقة .

تحتوى جميع ذرات الهيدروجين على بروتون واحد فقط ، وأى ذرة تحتوى على بروتون واحد ، يجب أن تكون ذرة هيدروجين . ويحدد عدد البروتونات الموجود فى أى ذرة نوع هذه الذرة . واعترافا بهذه الأهمية ، يعرف عدد البروتونات الموجودة فى أى ذرة ، بـ « عددها الذرى Atomic Number » لذا ، يحدد العدد الذرى لأى ذرة نوع هذه الذرة . ولما كانت جميع الذرات متعادلة كهربيا على الاجمال ، فيجب أن تحتوى جميعها على نفس العدد من الالكترونات مثل البروتونات ، فى حين يعتبر رقم البروتون من الخصائص الأكثر اساسية . ذلك لأنه عندما تتفاعل الذرات فيما بينها ، يمكنها أن تكتسب أو تفقد بعض الالكترونات ، فى حين يظل عدد البروتونات التى تحتوى عليها الذرة بلا تغير أثناء التفاعل الكيميائى . أما « العدد الكتلى Mass Number » لأى ذرة ، فهو عدد البروتونات مضافا اليه عدد نيوتروناتها ( انظر شكل ٩ — ٢ ) . فاذا عرفنا العدد الذرى والعدد الكتلى لأى ذرة ، يمكن أن نستنبط بسهولة تركيبها بدلالة الجسيمات الثلاثة دون الغريبة .

وعلى ذلك ، فالقاعدة الأساسية للبناء الذرى هى كالآتى : كل الذرات من نوع معين ، وبمعنى آخر لعنصر معين ، تحتوى على نفس العدد من البروتونات والالكترونات وعدد متغير من النيوترونات . ويعنى التغير فى عدد النيوترونات ، أن الذرات من أى نوع تأتى فى عدة تنويعات ، تختلف فقط فى عدد النيوترونات التى تحتوى عليها . وتعرف هذه التنويعات أو التغيرات بـ « نظائر Isotopes » العنصر الواحد . لذا فمن خلال المعلومات التى حصلنا عليها من قبل ، فهناك ثلاثة نظائر لذرة الهيدروجين فى الطبيعة ـ النظير الذى ليس به نيوترونات ( وعلى ذلك تكون كتلته الكلية مساوية لكتلة ذرية واحدة ) ، والنظير الذى به نيوترون واحد ( وعلى ذلك تكون كتلته الكلية مساوية لوحدتين من الكتل الذرية ) والنظير الذى يوجد به نيوترونان ( والذى كتلته تساوى ثلاث وحدات كتل ذرية ) . وتذكر أن كتلة الالكترون غاية فى الضآلة بالمقارنة بكتلة البروتون والنيوترون ، لذا ، فعند حساب الكتلة الكلية لذرة ما ، نهمل عادة الالكترونات ، ولا نضيف سوى عدد البروتونات الى عدد النيوترونات ، للحصول على كتلة تساوى العدد الكتلى للذرة .




شكل ( ٩ ـ ٢ ) نظائر ذرة الهيدروجين

وهناك مصطلح آخر يجب أن نعرض له قبل النظر الى عدد آخر من الذرات . ترتبط كل النيوترونات والبروتونات الموجودة داخل ذرة ما ببعضها البعض فى قلب مركزى دقيق ، يعرف بـ « نواة الذرة » Nucleus . وهذه النواة توجد فى حيز صغير بالمقارنة بالحيز الكبير الذى توجد فيه الالكترونات ، بالرغم من انها تحمل بالفعل كل كتلة الذرة . واذا أردنا أن نمثلها بشكل تقريبى ، فاذا كان حجم النواة يمثل نقطة نهاية الجملة على هذه الصفحة ، فمدارات الالكترون المحيط بها ستبعد عنها عدة أمتار أو عدة عشرات الأمتار من جميع الاتجاهات ( وتعتمد فى ذلك على عنصر الذرة الذى تنتمى اليه ) .

وعندما عرفت أن الهيدروجين هو أبسط العناصر جميعها ، فكل ذرة هيدروجين تحتوى على بروتون واحد فقط فى نواتها ، ونتيجة لذلك، فان عددها الذرى هو ١ ، ويجب الا تندهش عندما تعلم أن ذرات العنصر التالى ، عندما تنتقل من الذرات الأبسط الى الذرات الأكثر تعقيداً ، له بروتونان اثنان فى نواته ، وعلى ذلك فعدده الذرى (٢) ؛ وتسمى هذه الذرات بذرات الهيليوم . تحتوى جميع ذرات الهليوم على بروتونين ، ولذلك تحتوى على الكترونين ، ومن واحد الى أربعة نيوترونات ( اثنين عادة ) .

وعند النظر الى ذرة هليوم ( انظر شكل ٩ — ٣ ) ، نجدنا أمام لغز جديد . فالرسم يبين أن النواة تحتوى على بروتونين مرتبطين ببعضهما البعض ، على الرغم من اننا نعرف أن هذين البروتونين يجب أن يتنافرا بعنف ، نتيجة للقوة الكهربية ، التى تباعد بين الأجسام التى تحمل شحنة كهربية من نفس النوع . الا أنه يمكنك أن تتذكر من الفصل الثالث ، أن هذا المكان هو الذى تؤثر فيه القوة النووية القوية فى تركيب الذرات . فالبروتونات والنيوترونات تحمل شحنة القوة النووية القوية، أو بمعنى آخر تشعر بها . فالقوة النووية القوية أقوى من القوة الكهرومغنطيسية فى المسافات القصيرة ، فى حين أن القوة الكهرومغنطيسية يمكنها التغلب على القوة النووية القوية فى المسافات الأطول . فداخل الحدود المحكمة لأى نواة ذرية ، تتغلب القوة النووية القوية بسهولة على القوة الكهرومغنطيسية ، ولولاها لتمزقت النواة . . ومع ذلك ، فان بعض النويات الكبيرة تتمزق بالفعل ، وذلك فى عملية تسمى بالانشطار النووى Nuclear Fission .

وعندما نرتقى سلم التعقد الذري ، سيكون للنوع التالى من الذرات الذى نقابله ثلاثة بروتونات فى نواته ، ومن ثم فعدده ذرى هو ٣ ،

وعادة أربعة نيوترونات وثلاثة الكترونات . وتسمى هذه الذرات بذرات الليثيوم . ويدخل مخطط ذرة الليثيوم ( شكل ٩ ــ ٣ ) قاعدة مهمة جديدة من قواعد البناء الذرى . فهو يبين أن الالكترون الثالث قد احتل حيزا مداريا جديدا ، أكثر بعدا عن النواة . ونذكر أن المدارات الالكترونيـة هى ببساطة حجم الحيز المحيط بنوى الذرات ، التى يمكن أن توجـد بها الالكترونات . وسوف نهتم كثيرا بالمنطق المتضمن لهذه المدارات لاحقا ، ولكن هناك شيئا واحدا يجب أن أقوله فى الحال ، هو أنه من الممكن فقط لالكترونين أن يشغلا أى حيز مدارى واحد . لذا ، نحتاج الى مدارين مختلفين ليحتويا على الالـكترونات الثلاثة لذرة الليثيوم . الا انهما ليسا بالمتمايزين تماما كما قد يظن ، حيث يتداخل المداران مع بعضهما البعض فى منطقة مشتركة ، بحيث يمكن أن يوجد الالـكترون الخارجى فى أى مكان داخل حيزه المدارى ، الذى يشمـل منطقـة التداخل التى يمكن أن يوجد بها أيضا أى من الكترونى الحيز الداخلى .

وبعد الليثيوم ، ننتقل الى البريليوم ، تلك الذرة ذات العدد الذرى أربعـة ، وعلى ذلك تشتمل نواتها على أربعـة بروتونات وعادة خمسة نيوترونات ، وجميعها محاطة بأربعة الكترونات . وتذكر أن هناك متسعاً فى كل حيز مدارى لزوج من الالكترونات ، لذلك يمكن أن يوجد الالكترون الرابع لذرة البريليوم فى الحيز المدارى الخارجى . ويمكن أن تتضـح قاعدة أخرى من قواعد البناء الذرى من الشرح الذى وصلنا اليه حتى الآن : تميل الالكترونات الى أن تكون فى حيز مدارى أقرب للنواة ، عن أن تكون فى حيز أبعد حيث انها تكون بذلك فى حالة من الطاقة أقل ، أو بمعنى آخر ، تكون فى حالة تحد أقل للقوة الكهرومغنطيسية ، والتى تحاول بطريقة أو بأخرى جذبها الى النواة . وعلى ذلـك فقاعـدتنا الجديدة عن البناء الذرى ، يفضل ذكرها على النحـو التالى : تميـل الالكترونات الى شغل حيز الطاقة الأقرب .

**ويمكننا الآن ان نلخص القواعد الأساسية للبناء الذرى :**

● تتكون الذرات من بروتونات ونيوترونات والكترونات .

● عدد البروتونات فى أى ذرة يساوى دائما عدد الالـكترونات ، وتكون الذرة لذلك متعادلة كهربيا .

● قد تحتوى ذرات العنصر الواحد على عدد مختلف من النيوترونات ( النظائر ) .

● تشغل الكترونات الذرات حجما من الفراغ يعرف بالحيز المدارى ، ( أوربيتال ) ويحتوى كل حيز على الكترونين على الأكثر ٠

● تميل الالكترونات الى شغل الحيز المدارى الأقل طاقة أولا ، والذى هو الأقرب للنواة ، ثم الأبعد فالأبعد ، وهكذا .

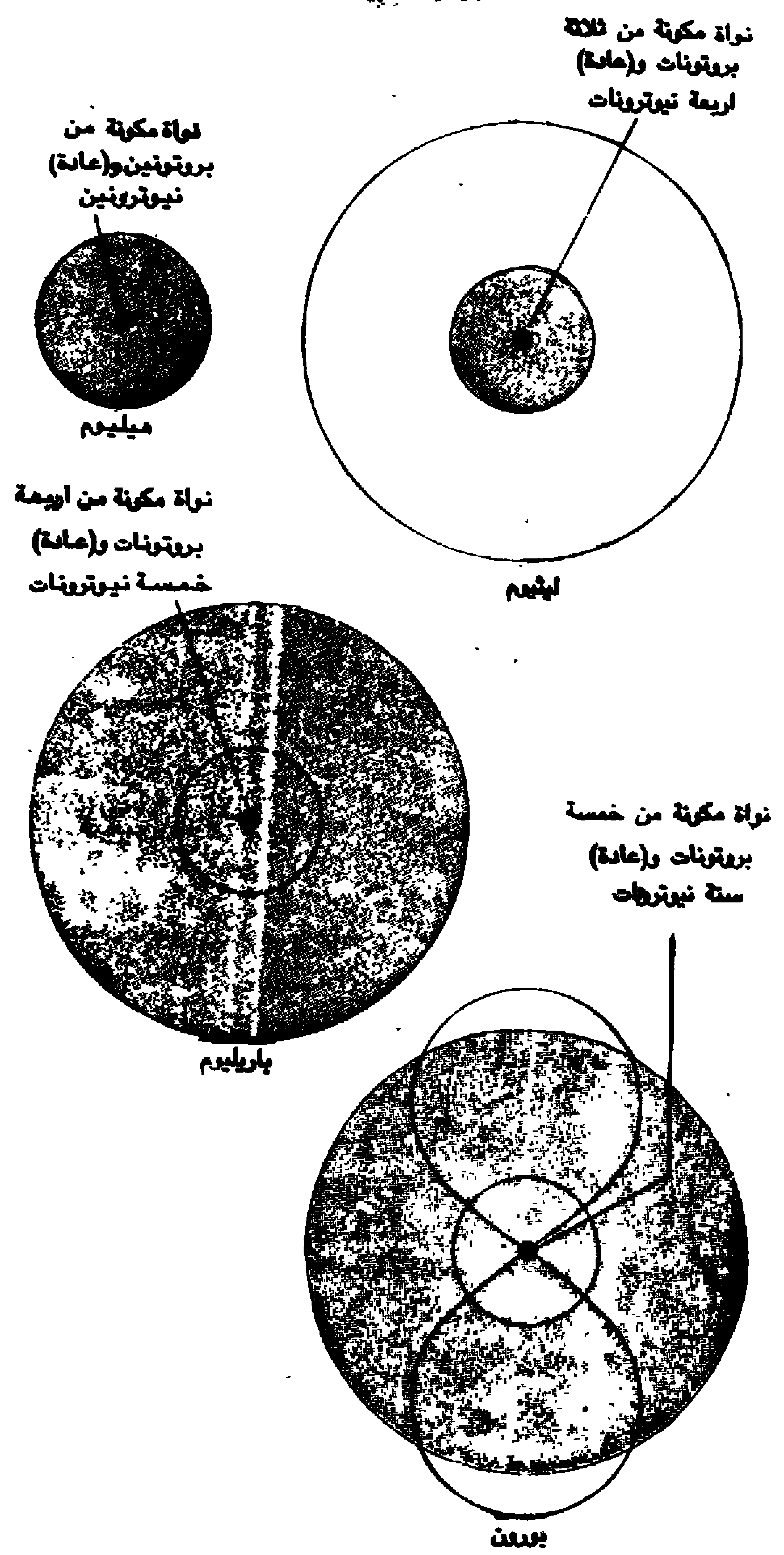
واذا دققنا النظر فى الجدول الدورى ، فسوف نجد عناصر مناظرة لكل الأعداد الذرية بدءا من العدد الذرى ١ ( ذرة الهيدروجين ) الى العدد الذرى ٩٢ ( ذرة اليورانيوم ) ٠ ولا توجد فراغات فى سلم التعقد الذرى الطبيعى — فهناك ذرات فى كل عدد ذرى ممكن بدءا من ١ الى ٩٢ ٠ وهذا يعكس حقيقة أن الذرات المركبة ، قد تكونت من اتحاد أو اندماج ذرات هيدوجين ٠ فالهيدروجين هو الوقود لأفران صهر الذرة ، التى نطلق عليها « انفجارات السوبرنوفات » . فالكون حين بدأ يتطور بعد الانفجار العظيم ، اندمجت ذرات بسيطة مع بعضها ، وهى فى الأصل ذرات الهيدروجين ، لتعطى ذرات أكثر تعقيداً بصورة تدريجية بحيث لم يترك فراغ فى هذا التدرج ( طبعا مع وجود تفاوت فى الوفرة بين ذرات العناصر المختلفة ) . وينعكس هذا التاريخ لذرات الكون فى حقيقة أنه حتى اليوم بعد حوالى من ١٠ الى ٢٠ بليون سنة من الانفجار العظيم ، فان ما يزيد على نسبة ٩٠٪ من الذرات الموجودة بالكون هى ذرات هيدروجين . فالهيدروجين هو الوقود لأفران صهر الذرة ، التى نطلق عليها النجوم ، ولا يزال يوجد منه الكثير .

وليس من الضرورى الاستمرار فى عرض بنية باقى الذرات فى الجدول الدورى ، بعد أن أوضحنا القواعد الأساسية لبنائها ، لكن هناك نقطة مهمة اخرى حول الحيزات المدارية يجب تذكرها . فاذا طلبت منك أن ترسم ذرة حديد ، ولنقل من نوع النظير الشهير التى يحتوى على ٣٠ نيوترونا ، فانك تقوم ببساطة بمحاولة رسم نواة محتوية على ٢٦ بروتونا — حيث ان العدد الذرى للحديد ، والذى رمزه Fe حين تكشف عنه فى الجدول الدورى هو ٢٦ — و ٣٠ نيوترونا ، ومحاطة بـ ٢٦ الكترونا . وبناء على القواعد السابقة للبناء الذرى ، فمن المحتمل أن تضع الالكترونات فى ١٣ مدارا ، من المدارات المتدرجة فى بعدها عن النواة ، وجميعها فى دوائر بنفس الشكل الجميل للمدارات التى تحدثنا عنها حتى الآن ٠ الا أن الأمور ليست بهذه البساطة ٠ فعندما نتتبع الذرات الموجودة فى الجدول الدورى بعد ذرة البريليوم ، سوف نفاجأ بوجود بعض الالكترونات فى حيزات مدارية مختلفة الشكل . فالبورون ، على سبيل المثال ، وهو العنصر التالى ، ذو العدد الذرى ٥ يأخذ

مداره الخارجي الثالث شكلا مدارياً ذا فص مزدوج ، كما هو مبين فى شكل ٩ ـــ ٣ . وهناك ذرات أكبر لها بعض الكتروناتها فى حيزات مدارية أكثر تعقدا ، ذات أربعة فصوص أو حتى ثمانية فصوص . الا انه برغم أشكالها الغريبة أحيانا ، تعتبر الحقيقة الأساسية عن المدارات الالكترونية بسيطة جدا : فكل حيز هو ببساطة عبارة عن منطقة من الفراغ ، يمكن شغلها بالكترون أو اثنين على الاكثر ، فلكى يحتل الالكترون اى حيز ، يجب أن يمتلك قدرا مناسبا من الطاقة ، التى تسمى أحيانا مستوى طاقة الحيز .

ويمكن أن يمثل مستوى الطاقة لكل حيز مدارى بالمخطط الموضح فى شكل ( ٩ ـــ ٤ ) للبعض منها . ويوضح هذا الشكل السمة الأساسية للعالم المتناهى الصغر ، التى قابلناها بالفعل : تتغير مستويات الطاقة فى ذلك العالم على صورة طفرات ، أو قفزات ، وليس فى قيم متصلة ، أو بمعنى آخر بصورة تتفق مع طبيعة الكم . فالكيانات الموجودة فى العالم دون الذرى ، كالالكترونات ، تتوزع فى سلسلة من مستويات للطاقة محددة القيم ، بدلا من أن يكون لها طاقات منتشرة بشكل حر على مدى مستمر . ويمكن لأى الكترون أن يقفز الى مستوى طاقة أعلى ، اذا امتص فوتونا من اشعاع كهرومغنطيسى ( مثل الضوء ) ، يعطيه الطاقة اللازمة بالضبط التى تجعله يرقى لهذا المستوى ؛ كما يمكن لالكترون فى مدار طاقة عال ، أن يهبط الى مدار طاقة أدنى من خلال قذف فوتون يحمل معه القدر المناسب من الطاقة ؛ ولكن فى غياب هذه الامتصاصات والابتعاثات للأشعة الكهرومغنطيسية ، يظل الالكترون حبيسا فى المدارات التى يشغلها .

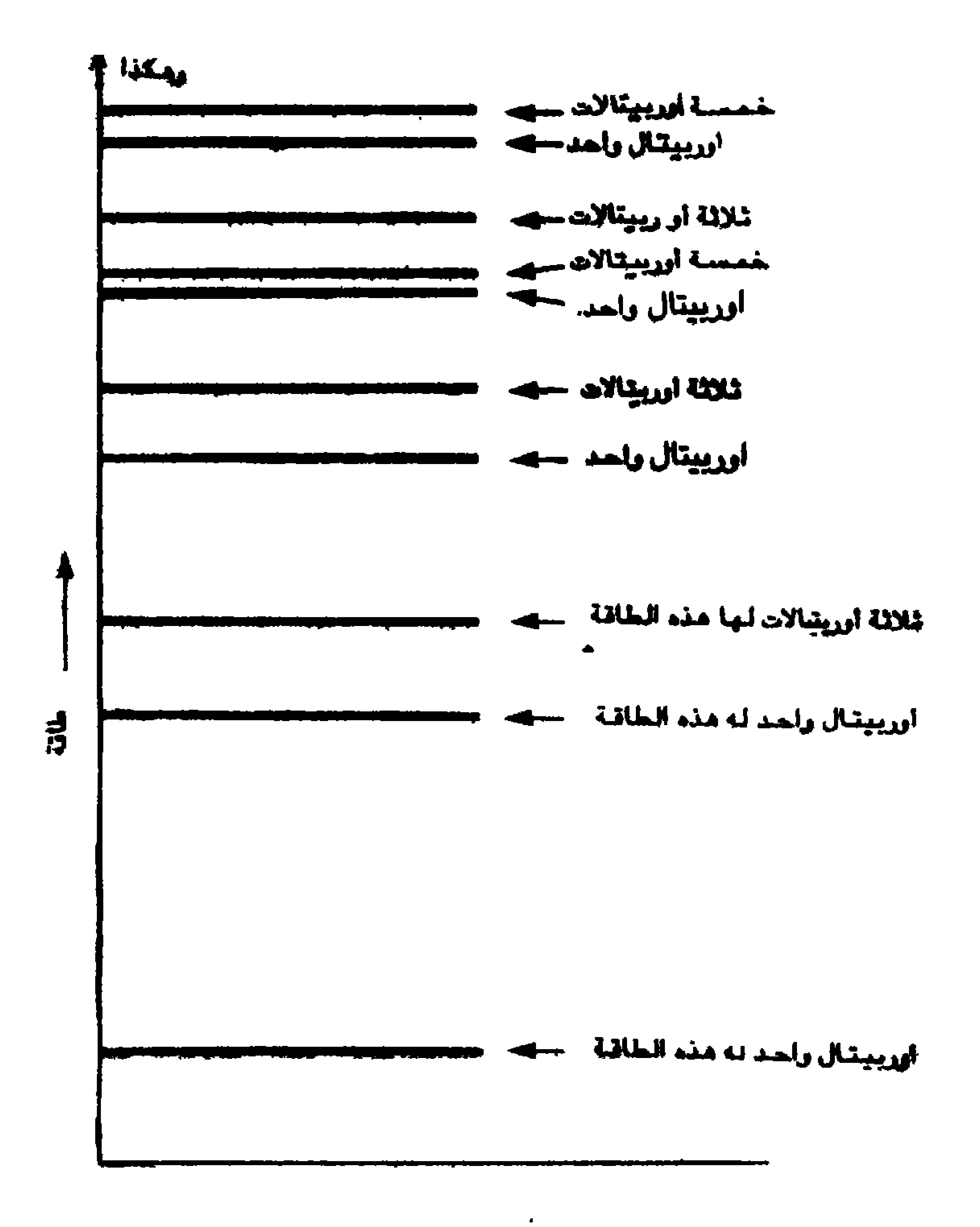
وبرزت النظرية الحديثة عن الذرات والكتروناتها من معاملة الذرات كموجات ، بدلا من التعامل معها كجسيمات صغيرة صلبة كما كنا نعتقد من قبل . وخلاصة القول ، بطبيعة الحال ، تعتبر الفيزياء الحديثة أن الالكترون ممتلك لخواص هى مزيج من خصائص الجسيمات والموجات ، طبقا لقواعد ازدواجية الجسيم ـــ الموجة التى تعبر عنها ميكانيكا الكم ، والتى تناولناها بالشرح فى الفصل السابع . ويعتبر الفيزيائى الألمانى اروين شرودينجر هو الذى استخدم فكرة موجات الالكترون فى استنتاجه المنطقي الرياضى فى العشرينيات من هذا القرن ، حيث أخذ الخواص المعروفة للالكترون ودمجها فى « معادلته الموجية » الشهيرة ، التى أتاحت وصف سلوك أى موجة باستخدام الأعداد .




شكل ( ٩ ـ ٣ ) بعض الذرات والحيزات المدارية التى يشغلها الالكترون • تعتبر الحيزات المظللة ممتلئة ، اى انها تحتوى على الكترونين ، وتحتوى غير المظللة على الكترون واحد فقط • يحتوى المدار الذى يتخذ الشكل ذا الفصين لذرة البورون على الكترون واحد فقط على الرغم من انه محجوب بتداخل بين الحيزات المدارية •

وعندما تطبق المعادلة الموجية لشرودينجر على الالكترونات المحيطة بالنوى الذرية ، ينتج عنها عدد لا نهائى من الحلول ، مناظر لعـدد لا نهائى من موجات الالكترون الممكنة . أما اذا وضعت بعض القيـود المعقولة فان المعادلة الموجية لشرودينجر تصبح أكثر فائدة . واحـدى صور الموجات المهمة التى تحظى بأهمية خاصة هى ما يعرف بـ « الموجات المستقرة Standing Waves» . ويمكنك أن تجد هذا النوع من الموجات على وتر آلة الكمان ، على سبيل المثال ، حيث تتذبذب الأجزاء الأخرى من الوتر لأعلى ولأسفل ، بينما لا تتحرك الموجة على الوتر على الاطلاق. والموجات المستقرة هى فى الأساس مجرد ذبذبات ، تعمل على تخزين الطاقة من أى شىء يتذبذب ، لذا فهى مناسبة للتعبير عـن الطـاقة المختزنة داخل الالكترونات المحيطة بأية ذرة . فاذا لم نأخـذ سـوى الموجات المستقرة فى الاعتبار الناتجة من معادلة شرودينجـر ، حينئذ ستظهر سلسلة من موجات الكترونية حول نواة ، تتفق طاقتهـا مـع مستويات الطاقة المعروفة الموجودة فى الالكترونات داخل النواة . وتؤخذ هذه الموجات الثابتة لتمثل الحيزات المدارية المتاحة للالكترونات حول نواة الذرة ؛ وتتوقع معادلة شرودينجر أيضا كل الحـيزات المداريـة المناظرة لطاقات عديدة . ويمكننا القول بتعبير رياضى بأن مربع سعـة الموجة الالكترونية عند أى موقع ( أى قيمة السعة مضروبة فى نفسها ) يعبر عن احتمال وجود الكترون عند هذه النقطة فى أية لحظة من الزمن . وعلى ذلك يكشف أحد الاستنتاجات الرياضية البسيطة نوعا ما عـن « شكل » كل حيز مدارى الكترونى ، والذى يعتبر فى حقيقة الأمـر الموضع الصحيح « لـ ٩٠٪ من حده الاحتمالى » ، كما سبق واشرنا فى الفصل الثامن .

لذا ، فصورتنا للحيزات المدارية الالكترونية المتاحة حول الذرات ، نابعة من الموجات الثابتة ذات الطاقات العديدة ، والتى تنبأت بها معادلة شرودينجر الموجية عند تطبيقها على الالكترونات . الا أن هذه الموجات، لا تعتبر موجات ثنائية الأبعاد ، مثل ذبذبات وتر الكمان ، لكنها قريبة الشبه بذبذبات داخل كرة معدنية طرقت بمطرقة ( بالرغم من أن هـذا التشبيه لا يعتبر صحيحا ) . فهى توحى بأنه يمكن اعتبار أى الكترون حول ذرة كشىء مثل سحابة متذبذبة من « ظاهرة الالكترون » ، بدلا من أن يكون جسيما صلبا دقيقا منطلقا بسرعة حول نواة . وبطريقة بديلة، فاذا أصررنا على الاحتفاظ بفكرة الالكترونات على انها جسيمات صلبة دقيقة ، حينئذ يجب اعتبارها منطلقة فى حركات شاذة داخل الحـيز المدارى ، الذى توقعت شكله المعادلة الموجية لشرودينجر ، وباحتمالية




شكل ( ٩ ـ ٤ ) الحيزات المدارية المتاحة للالكترونيات الذرات مقصورة على مستويات طاقة ذات قيم محددة

كونه موجوداً فى أحد الأماكن وفى أية لحظة ، كما توقعته معادلة شرودينجر الموجيـــة .

وترسم المعادلة الموجية لشرودينجر الصورة التالية للحيزات المدارية الالكترونية حول الذرات ( انظر الشكل ٩ — ٥ ) . فهى توحى بذرة محاطة بـــ « اغلفة shells » و « أغلفة ثانوية Sub Shells » من الحيزات المدارية مع وجود فرصة للمزيد من الحيزات المدارية الاضافية داخـــل

كل غلاف ، كلما انتقلنا الى طاقات أعلى وحيزات مدارية أبعد من النواة . وهذه الأغلفة والأغلفة الثانوية ما هى الا تجميعات من الحيزات المدارية التى تشترك فى أحد الخواص الرياضية الأساسية داخل المعادلة الموجية — ولكن ليست لها حقيقة فيزيائية : فالنوى الذرية محاطة ببساطة بالكترونات تشغل مناطق من الفراغ نسميها بالحيزات المدارية .

ويحتوى الغلاف الأول من المدارات فعلا على حيز مدارى واحد فقط وقد ذكرنا أن كل حيز مدارى يمكن أن يحتوى على اثنين من الالكترونات على الأكثر ، ولذلك فيوجد بالغلاف الأول حيز يتسع لالكترونين على الأكثر . وبالمناسبة ، فلكى يحتوى المدار على الكترونين ، يجب أن يكون لف أحدهما معاكس للف الآخر (٣) ، وقد ناقشنا خاصية اللف فى الفصل السادس .

ويحتوى الغلاف الثانى على مجموع أربعة حيزات مدارية ، وعلى ذلك فهو يتسع لثمانية الكترونات ٠ الا أنه يمكننا أن نلاحظ من شكل ٩ — ٥ ، أن هذا الغلاف ينقسم الى غلافين ثانويين ، ذوى طاقات مختلفة اختلافا طفيفا . ويحتوى غلاف الطاقة الثانوى الأدنى على حيز مدارى واحد فقط فى حين تتماثل الحيزات المدارية الثلاثة الأخرى للغلاف الثانى ، لكنها ذات طاقات أعلى بدرجة طفيفة ، وتوصف بانها تكون مع بعضها غلافا ثانويا آخر للغلاف الثانى . وهناك نقطة جوهرية ، وهى أن أية مدارات تنتمى لنفس الغلاف الثانوى ، تتناظر مستويات طاقة متماثلة للالكترونات الموجودة بداخلها .

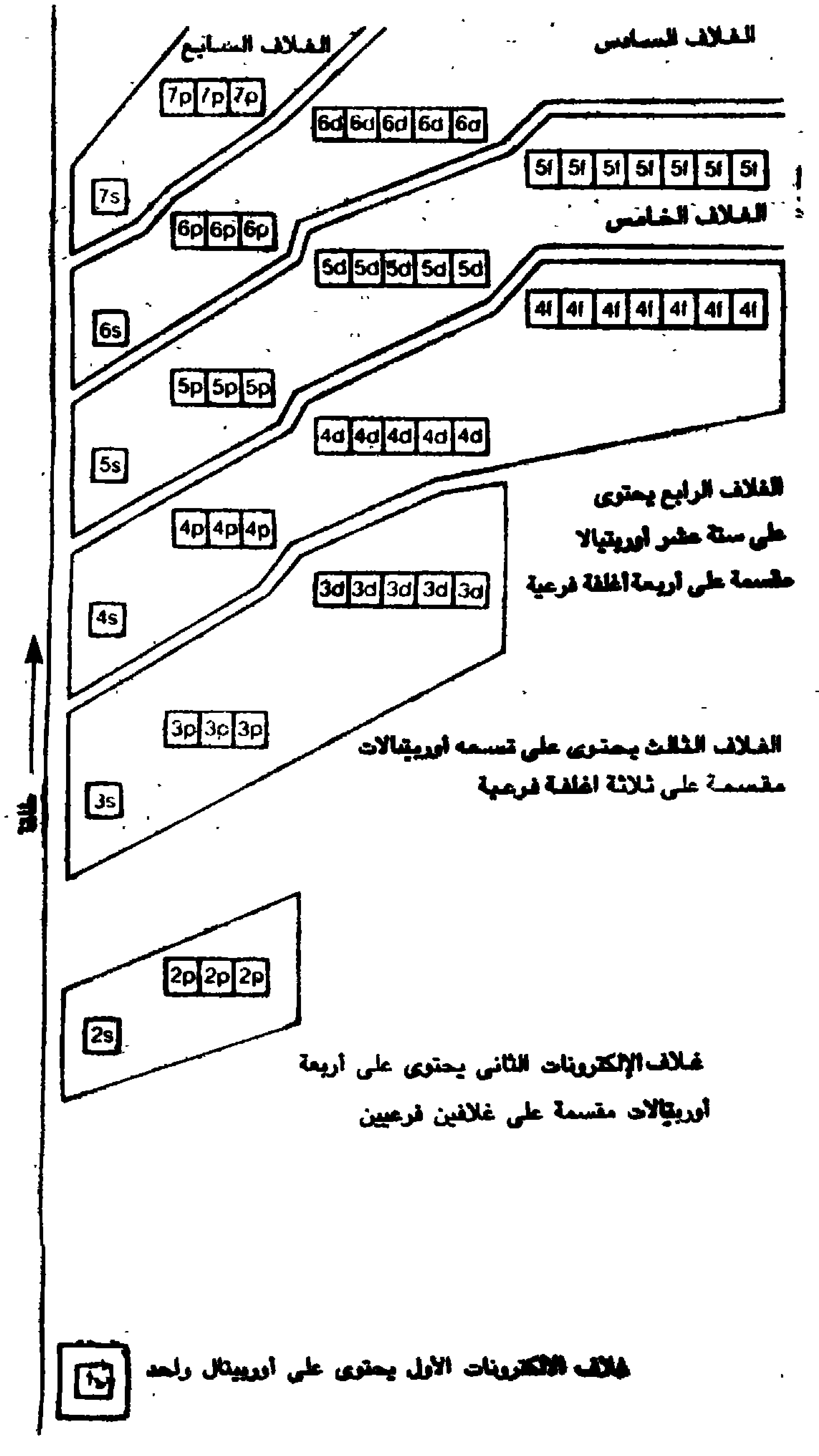
ويحتوى الغلاف الثالث على تسعة حيزات مدارية ، وعلى ذلك فهو يتسع لثمانية عشر الكترونا . وينقسم هذا الغلاف الى ثلاثة اغلفة فرعية تحتوى على واحد ، وثلاثة ، وخمسة حيزات مدارية على التوالى.

أما الغلاف الرابع فيحتوى على ستة عشر حيزا مداريا ، يتسع لعدد ٣٢ الكترونا ، موزعين على أربعة اغلفة فرعية ، تحتوى على حيز مدارى ، فثلاثة ، فخمسة ، فسبعة على الترتيب .

ويستمر هذا النمط ونحن نتفحص الحيزات المدارية صعودا للمستويات الأعلى من الطاقة ، الى أن نجد حيزات مدارية تتسع لجميع الالكترونات الاثنين والتسعين الموجودة فى ذرة اليورانيوم ، والتى تعتبر اكبر أنواع الذرات الموجودة على الأرض بصورة طبيعية . والسمة الأساسية لنمط انشاء الحيزات المدارية ، هى أنه كلما اتجهنا الى طاقات أعلى ، أى نزداد بعداً عن النواة ، نجد أماكن لاعداد متزايدة من الحيزات المدارية ، تستوعب أعداداً متزايدة من الالكترونات .

وعندما نتفحص أية ذرة فى البيئة اليومية للطاقة المنخفضة نوعاً ما على الأرض ، فسوف نجد ببساطة سارة أخرى ذكرناها من قبل : تفضل الالكترونات أن تشغل مدارات الطاقة الأدنى على جميع الحيزات المدارية المتاحة . وتعرف حالة الذرة التى تكون فيها جميع الكتروناتها فى الحيزات المدارية المقابلة للطاقة الأدنى ، بـ « الحالة الدركية Ground State » (٤) للذرة . وهناك العديد من الظروف التى يمكن أن تخل بهذه الحالة المستقرة ، منها امتصاص الذرة للطاقة فى صورة اشعاع كهرومغنطيسى ، على سبيل المثال ، مما يجعل الالكترونات تقفز الى مدارات الطاقة الأعلى ؛ لكن الحالة الدركية هى نقطة بدايتنا الأساسية عند اهتمامنا بالذرات والكتروناتها .

ويضم الجدول الدورى ( شكل ٩ — ١ ) ، كل الذرات الموجودة فى العالم ، ويسمح لنا باستنباط عدد الالكترونات التى تحتوى عليها كل ذرة ( حيث ان عدد الالكترونات يساوى عدد البروتونات ، الذى يعتبر العدد الذرى للذرة ) . وعلى ذلك ، تتيح لنا المعلومات الموجودة فى شكل ٩ — ١ و ٩ — ٥ تحديد الحالة الدركية للتركيب الالكترونى للذرة ، عن طريق تسكين أعداد الالكترونات المطلوبة فى الحيزات المدارية المبينة فى شكل ٩ — ٥ ، مبتدئين بالحيز ذى الطاقة الأدنى ، ومتجهين لأعلى الى أن توفق جميع الالكترونات فى أماكنها . تحتوى ذرة الهيدروجين على سبيل المثال ، على الكترون واحد فقط ، يوجد فى المدار الوحيد للغلاف الالكترونى الأول — الذى يعتبر أدنى حيزات الطاقة جميعا . وذرة الهليوم ذات الالكترونين ، سوف تحتوى على الغلاف الأول ممتلئا ، بدلا من الغلاف النصف ممتلىء لذرة الهيدروجين . وتحتوى ذرة الليثيوم على ثلاثة الكترونات ، وعلى ذلك ، ففى حين يمكن أن يشغل اثنان من هذه الإلكترونات الحيز الوحيد للغلاف الأول ، فان الالكترون الثالث يجبر على شغل حيز الطاقة الأدنى من الغلاف الأعلى التالى . وتحتوى ذرة الكربون على ستة الكترونات ، لذلك فان الحالة الدركية




شكل ( ٩ ـ ٥ ) تنسب الحيزات المدارية الى اغلفة واغلفة ثانوية عديدة • وتعرف الاغلفة الثانوية بـ s, p, d, f لاسباب تاريخية لا تعنينا فى هذا المقام •

لطاقتها الأدنى سيكون لها الكترونان فى الحيز الوحيد للغلاف الأول ، واثنان من الالكترونات فى الحيز الوحيد من الغلاف الثانوى للطاقة الدنيا فى الغلاف الثانى ، والالكترونان الباقيان فى الحيزات المنفصلة من الغلاف الثانوى للطاقة الأعلى قليلا فى الغلاف الثانى . وهذان الالكترونان من ذوات الطاقة الأعلى ، سيشغلان حيزات منفصلة، بدلا من أن يجتمعا فى حيز واحد يتسع لهما ، أساسا لأن شحنتهما الكهربية السالبة ، ستجعلهما متباعدين عن بعضهما البعض قدر الامكان . ويمكن أن تستمر عملية استنباط تركيب جميع ذرات الجدول الدورى ( على الرغم من أنه قد توجد فى الحقيقة بعض الاستثناءات فى وضع الالكترونات ، لأسباب وجيهة فى حيزات خلاف ما تبينه العملية البسيطة المشروحة ) .

لقد قابلنا حتى الآن جميع القواعد الرئيسية التى تحكم البناء الالكترونى للذرات : تشغل الالكترونات الحيزات المدارية الموجودة حول النوى الذرية ، التى تتوقع معادلة شرودينجر الموجية طاقتها وشكلها ؛ ففى الحالة الدركية ، تشغل الالكترونات حيزات الطاقة الأدنى المتاحة ؛ واذا وجد أن اثنين أو أكثر من الالكترونات لها مدارات متاحة متساوية الطاقة ، فانها تشغل مدارات منفصلة كلما أمكن ذلك .

الا أننا عندما ندرس بعناية شكل ٩ — ٥ ، نجد شيئا يثير حيرتنا . فالشكل يبين بصورة واضحة أن الغلاف الثانوى ٤ s ذو طاقة اقل من الغلاف الثانوى ٣ p ، فى حين أن الأول ينتمى للغلاف الرابع والثانى للغلاف الثالث ، ويثار التساؤل عن السبب فى أن جزءا من الغلاف الرابع يشغل قبل اكتمال الالكترونات فى الغلاف الثالث (٥) . والاجابة ببساطة شديدة هى أنه بعد الغلاف الثانوى ٣p ، يكون الحيز s ٤ ذا طاقة اقل من الحيزات ٣d ، كما يدلنا على ذلك تطبيق المعادلة الموجية.

ويمكن أن نجد هناك تعقيدات مشابهة فى أعلى الشكل مثل الغلاف الثانوى ٥ p ، الذى يشغل قبل مدارات ٤ f . ولا يجب أن نشغل انفسنا بهذه التعقيدات ، عندما نأخذ فى اعتبارنا التركيب الالكترونى لأية ذرة . فطاقات المدارات هى التى تهمنا ، أكثر من العناوين التى نعرفها بها ، والقاعدة البسيطة هى أن الالكترونات سوف تشغل بصورة

طبيعية مدارات الطاقة الأقل ، مفضلة ذلك على شغلها لمدارات الطاقة الأعلى . وسوف لا تقفز هذه الالكترونات الى المدارات الأعلى ، الا اذا ساعدها شيء على القيام بذلك ، كامتصاص طاقة على صورة اشعاع كهرومغنطيسى .

ويكفى ما ذكرناه هنا عن الذرات فى حالة انفرادها ، لأنه على الرغم من أن الذرات تعتبر أساسية ومبهرة ، فان ما يحدث للذرات عندما تصطدم وتشارك فى التفاعلات الكيميائية ، يعتبر الى حد بعيد على درجة من الأهمية والصلة بالعالم المحيط بنا . وليست معظم المواد التى تحيط بنا وفى داخلنا ، ذرات فردية حرة ، بل توجد فى مجموعات مترابطة . وفى الفصول الثلاثة القادمة ، يجب أن نركز اهتمامنا على القوانين الأساسية التى تحكم تفاعلات الذرات . وسوف أستخدم فى البداية ، التصادم بين الذرات لعرض مفهوم أساسى وثيق الصلة بشكل عام ، وهو « الانتروبيا » ؛ وبعد ذلك سيكون لدينا فسحة من الوقت لأن ننتقل الى القوانين الكامنة وراء كل التفاعلات الكيميائية التى تجعلنا وتجعل عالمنا يعمل .

الفصل العاشر

# الانتروبيـا

## ENTROPY

كلما استمتعت بدفء حرارة الشمس ، فأنت مستدفىء بظاهرة تجعل الكون يعمل . فأنت تستغل ميل الطاقة للتشتت من أماكن تتركز فيها ، الى أماكن توجد فيها بصورة أقل ، متحركة طوال الوقت نحو توزيـــع اكثر استواء على الاجمال . فتشتت الطاقة هو القوة المحركة الرئيسية الباعثة على كل تغير ، ويحدث بصورة أوتوماتيكيـة وحتميـة حيثمـا وجدت الطاقة الفرصة للتشتت . ويكشف هذا الفصل عن هذا التشتت فى أحد المواقف البسيطة جدا ، ليميط اللثام عن سبب حدوثه ويشجعك للبحث عنه فى قلب كل المواقف الأخرى التى يحدث بها التغير .

تخيل أنك تمسك بقضيب طويل من الحـديد ، والذى يعتبر شيئا بسيطاً جداً بالاصطلاح الكيميائى ، لأنه لا يتكون الا من ذرات حديد فى حالة حركة . وتتحرك ذرات الحديد بشكل سريع مثـل كل جسيمـات المادة ، وتصطدم مع بعضها البعض وترتد وتتدافع بصورة أكبر عندمـا تشترك فى تصادمات أخرى . فالحديد على الرغم من أنه يبدو صلبـا ولا يزال ، لكنه ملىء بالحركة الهيولية .

أحد طرفى قضيب الحديد أكثر سخونة من الطرف الآخر ، لأنـه سحب توا من قلب فرن ، وعلى ذلك فأنت تحـرص على الامســاك بالقضيب من طرفه البارد ؛ لكنك تعـرف تمـاما ما سيحدث : سـوف تبدأ الحرارة فى الانتشار خلال القضيب الى أن يصل بعض منها للطرف الذى تمسك به . وكلنا يعرف أن الحرارة تنساب من الأجسام الساخنة الى الأجسام الباردة ، أو من المناطق الساخنة الى المناطق الباردة ، لكننا يجب أن نفكر فى السبب الذى يجعلها تسلك هذا السلوك .

فعندما نقول ان أحد طرفى القضيب الحديدى أسخن من الطرف الآخر ، فهذا يعنى فى حقيقة الأمر أن الذرات الموجودة فى طرف القضيب الساخن تتحرك بصورة أسرع ، أو بمعنى آخر بطاقة حركية أكبر من الذرات الموجودة فى الطرف البارد . وتنسب « حرارة » أى جسم الى مقدار السرعة التى تتحرك بها جسيماته . ويخبرنا التعريف العلمى للحرارة ، بأنها مقياس لمتوسط الطاقة الحركية للجسيمات فى جسم معين ، الذى يعتمد على كتلة الجسيمات بالاضافة الى سرعة حركتها . غير أن ذرات الحديد جميعها الموجودة فى القضيب لها نفس الكتلة ، لذلك فأى اختلاف فى الحرارة بين أحد طرفى القضيب والطرف الآخر يجب أن يكون راجعا كلية للاختلاف بين السرعة المتوسطة للذرات فى طرفى القضيب .

ومع ذلك ، تحدث تصادمات بصورة مستمرة بين الذرات المتجاورة خلال القضيب ، وتعتبر التصادمات المسبب الرئيسى فى اعادة توزيع الطاقة . ولادراك ذلك ، دعنا نفكر فى حالة كرة بلياردو متحركة ، على سبيل المثال — تصطدم بكرة ثابتة . سوف نتوقع بعد التصادم أن تتحرك كلا الكرتين ، وهذه هى الحالة بالفعل دائما بخلاف الحالة الخاصة ، التى يمكن فيها لضربة مواجهة كاملة أن توقف تماما حركة الكرة المتحركة ، وتدفع الكرة الثابتة للتحرك . وليست معظم التصادمات مثل هذه الحالة الخاصة ، لكنها ضربات خاطفة ينتج عنها تحرك كلا الكرتين . وما يحدث هو أن الكرة المتحركة تتباطأ بعض الشىء لأن بعضا من طاقتها الحركية قد انتقل الى الكرة الثابتة عند بداية التصادم، فجعلتها تشرع فى الحركة . فالطاقة لم تفقد أو تكتسب على الاجمال خلال التصادم ، لكنها توزعت بصورة أخرى ، وبشكل أكثر استواء . ففى البدء ، كانت لاحدى الكرات كل الطاقة الحركية ، ولكن نتيجة التصادم ، أصبحت الطاقة مشاركة بين الكرتين بصورة متساوية . وهذا هو القانون العام للطاقة والتصادم : عندما يصطدم جسمان متحركان ، يعاد توزيع طاقاتهما بطريقة ما بحيث ان الأجسام التى كانت لها فى البداية معظم الطاقة ، يحدث لها فقد فى الطاقة ، والأجسام التى كانت فى الأصل لها القدر الأقل من الطاقة ، يحدث لها بسبب التصادم كسب مزيد من الطاقة ، وتصبح الطاقة الكلية مشاركة أو منتشرة بشكل أكثر استواء بين الأجسام المتصادمة .

والان دعنا نعد الى قضيب الحديد الذى مازلت تمسكه بيدك . ومن الواضح أن التصادم بين الذرات سريعة الحركة جدا فى الطرف

الساخن من القضيب ، وجارتها بطيئة الحركة نسبيا ، سينشأ عنه بعض الطاقة الحرارية ، أو بعض الحركة بمعنى آخر ، تنتشر على طول القضيب تجاه الطرف الذى تمسك به · ويحدث هذا لأن التصادمات التى جعلت الطاقة الحرارية تنتقل فى هذا الاتجاه ، أكثر احتمالا من التصادمات التى جعلت الطاقة الحرارية تنتقل الى الاتجاه الآخر . ولكى نوضح هذه المسألة بصورة أخرى ، فهناك العديد من الفرص لأن تتحرك الطاقة الحرارية تجاه الطرف البارد ، أكثر من فرص تحركها – نحو الاتجاه الآخر ، وهذا أساسا ، هو السبب فى انتشار الحرارة خلال طول القضيب كله . وهذا لا يعنى أن التصادمات التى تسبب انتشار الطاقة الحرارية فى اتجاه الطرف الساخن لم تحدث ، لكنها أقل احتمالا من التصادمات التى تنشر الحرارة فى الاتجاه الآخر ، وذلك لأن الذرات فى الطرف الساخن من القضيب ، هى فى المتوسط تتحرك بسرعة أكبر من الذرات الموجودة فى الطرف البارد .

فهنا قد أصبح لديك كنه القوة الباعثة على التغير ، الا وهو انتشار الطاقة : تميل الطاقة الى الانتشار نحو توزيع أكثر استواء ، وذلك لأن هناك فرصاً أكبر لأن تفعل ذلك ، أكثر من الفرص المتاحة لأن تصبح مرتكزة فى مناطق أكثر من مناطق أخرى · وقد تبدو هذه العبارة أطول مما تحوى من مضمون ، لكنها تصف فى حقيقة الأمر القوة الدافعة لكل التغير الذى يحدث فى الكون . فكل شىء يحدث ، بدءاً من احتراق النجوم ودوران الأرض والرياح والمطر الى حركة العضلات التى تجعلك واقفا فى وضع منتصب والعمليات الكيميائية التى تحدث فى مخك ، والتى تجعلك تفكر فى كل هذا ، كل ذلك يحدث لأنها مدفوعة بانتشار الطاقة نحو توزيع أكثر استواء بشكل عام .

إن ما ناقشناه تواً يعرف علمياً بالقانون الثانى للديناميكا الحرارية ، والذى على الرغم من أنه يأخذ ترتيبا تالياً بعد القانون الأول الشهير ( قانون حفظ الطاقة ) ، الا أنه يعتبر من أكثر القوانين الفيزيائية أهمية . وبعبارات أكثر اصطلاحية ، يصف كيف تتزايد ظاهرة تعرف بالـ « انتروبيا Entropy » للكون بصورة حتمية . ويمكن تعريف الانتروبيا تعريفاً رسمياً من خلال عدة طرق ، ويمكن أن تسبب جميعها بعض البلبلة عندما نتعرف عليها لأول مرة . الا ان القانون الثانى ينص على ما يلى : « تنتشر طاقة الكون فى أى تغير تلقائى ، نحو توزيع أكثر استواء على الاجمال » . واتجاه تزايد « الانتروبيا » ، هو اتجاه

تشتت الطاقة . وتعتبر « الزيادة فى الانتروبيا » هــذه السبب فى جعــل الأشياء الساخنة تبرد ، وجعل الأشياء الباردة تسخن . وهى السبب فى أن الشمس تجعلك تشعر بالدفء ، والغطس فى البحر يجعلك تشعر بالانتعاش والبرودة . وهى السبب فى جعل مكعبات الثلج تنصهر فى المشروبات الساخنة ، لكنها لا تتكون وتنمو فجاة داخل كوب من الشاى الساخن .

ويصف عدد كبير من الافتتاحيات التمهيدية لموضوع الانتروبيــا ، بأنها قياس لاضطراب موجود فى نظام . وهذا يسمح للقانون الثانى للديناميكا الحرارية بأن يعرف بأنه الميل المحتوم للكون لأن يصــبح أكثر اضطرابا على الاجمال بمضى الزمن . وهذا الوصف غير الدقيق نوعــا ما للقانون الثانى ، يمكن أن يكون متقنا اتقانا ، اذا أخذنا فى الاعتبار الطرق التى تتوزع بها الطاقة داخل نظام . وعندما يحدث هذا ، فانه يصبح واضحا مرة أخرى أن الانتروبيا المتزايدة تناظر تشتت فى الطاقة نحو توزيع أكثر استواء على الاجمال .

ويستمر نشاط الكون بقوة دفع « التشتت » لأنه فى كون نشأ مــن جسيمات متحركة بشكل هيولى ، يوجد دائما المزيد من الطرق لأن تصبح الطاقة مشتتة خلال الجسيمات ، بدلا من أن تتركــز فى مجموعــات صغيرة منها . ويسترشد التغير الطبيعى بالتنافس بين احتمالات تشتت الطاقة وتركيزها ، حيث يفوز التشتت دائما على الاجمال ، لأنه يوجد المزيد من الطرق العديدة التى تجعله يفوز .

الفصل الحادى عشر

# التفـــاعلات

# REACTIONS

عندما نريد أن نستكشف الطبيعة الحقيقية للعالم ، يتحتم علينا أن نشق طريقنا خـلال تسلسـل هـرمى التعقيـد ٠ فالأشـياء الصـغيرة والظواهر البسيطة تتحد لتكون ما هو أكبر وأكثر تعقداً ، ثم تعود لتتحد لتزداد كبرا وتعقدا ؛ وهلم جرا ، الى أن يتولد منها أكثر الأشياء تنوعا وتعقدا ، الا وهى الكائنات الحية ، والتى تمثل ذروة تطورها . وقـد درسنا حتى الآن المستويين الأولين من ذلك الهـرم : الأول : الظواهر الأساسية للفيزياء والجسيمـات التى تصنعهـا ، والثانى : الاثنان والتسعون نوعا من ذرات العالم الطبيعى ، التى تتكون من البروتونات والنيوترونات والالكترونات بمصفوفات متنوعة . وسوف نتسلق صاعدين نحو قمة التسلسل — نحن البشر — عندما ننتقل الى الفصل الثالث عشر والرابع عشر والخامس عشر ؛ ولكن عند المستوى التالى بدءا من الذرات نجد انفجاراً مفاجئاً فى التسلسل ظـاهراً للعـيان : يتمثل فى التنوع اللانهائى من المركبات الكيميائية التى تتكون عندما تتشارك الذرات فى تفاعلات كيميائية .

نحن نقوم طوال الوقت باجراء واستغلال التفاعلات الكيميائية . وعلى سبيل المثال ، فى كل صباح أستيقظ من فراشى وأضغـط الزر لاشعال الغاز الذى ينساب من موقد الغاز ، فتفجـر طاقـة الشرارة الكهربية تفاعلا كيميائيا ، يتفاعل فيه الغاز ، الذى يكون غالبا مـن الميثان مع الأكسجين الموجود فى الهواء لتوليد مركبين كيميائيين جديدين — ثانى أكسيد الكربون والماء — بينما ينطلق قدر من الحرارة . وغالبا ما أستغل الحرارة فى سلق البيض ، وهى عملية تشتمل على تفاعلات

كيميائية داخل البيضة الرقيقة السائلة ، لتحويلها الى كتلة صلبة مــن البياض والصفار . وبعد تناول الافطار ، أقوم بالاغتسال بنوع مــن المواد الكيميائية يسمى بالصابون ، والذى تتحد جزيئاته مع الفضلات الكيميائية فى جسمى التى أرغب فى التخلص منها ، ثم أرتــدى ملابسى حينما أرغب فى مغادرة المنزل الى سيارتى . وفى السيارة ، أقوم بادارة مفتاح الاشعال ، للسماح للعمليات الكيميائية داخل بطاريـــة السيارة بتوليد شرارة ، والتي تشعل حريقا آخر . وهذه المرة يكون الحـريق سريعا ـــ انفجاريا ـــ حيث تتفاعل الجزيئات داخل البنزين مع أكسجين الهواء ، فتتولد غازات العادم التى تخرج من الماسورة الخاصة بهـــا ، بالاضافة الى قوة الانفجار التى تدفع مكابس محرك السيارة لتنطلق على الطريق .

ويمكننى الاستمرار حتى نهاية الكتاب فى وصف عدد لا يحصى من التفاعلات الكيميائية التى نستغلها لكي نحيا حياتنا العصرية . فنحــن ندفئ أنفسنا ونولد الكهرباء باستخدام كيمياء الاحتراق ، ونطعم أنفسنا باستخدام كيمياء الطبخ المعقدة ، ونكتسى بالملابس الزاهية الجميلـــة بفضل العمليات الصناعية الكيميائية الحديثة ، ونحاول علاج أمراضنا باستخدام كيمياء العقاقير ، والتى تمكن الانســـان من تخليق العـــديد منها ؛ وبطبيعة الحال ففى داخل أجسامنا ، تعتمد حياتنا على التعقـــد المذهل للتفاعلات الكيميائية الطبيعية .

وقد سميت الكيمياء « بالعلم المركزى » ، حيث انها تشغل الموقع المتوسط بين الفيزياء والبيولوجيا ، وتشمل على العمليات الكيميائيـــة المهمة التى تتيحها الفيزياء ، وهي المطلوبة لدعم جميع الكائنات الحية . وهى بلا شك اساسية لحياتنا ، وفى هذا الفصل والفصل التالى ، سوف نكتشف الأسس البسيطة التى ينشأ عنها تعقد الكيمياء .

تعتبر « التفاعلات الكيميائية » هى الأحداث الجوهريـــة داخـــل العمليات الكيميائية . فعندما تتفاعل مواد كيميائية ، فإن ما تتفاعل معه هو التصادمات بين الجسيمات التى تتكون منها . والجسيمـــات التى تصطدم وتتفاعل فى الكيمياء ، ليست هى مجرد ذرات لكنها الجزيئات والأيونات أيضا ، والتي يمكن أن تشتق من الذرات ، وتشتمل جميـــع التفاعلات الكيميائية على اثنين أو أكثر من هذه الجسيمات المتصادمة .

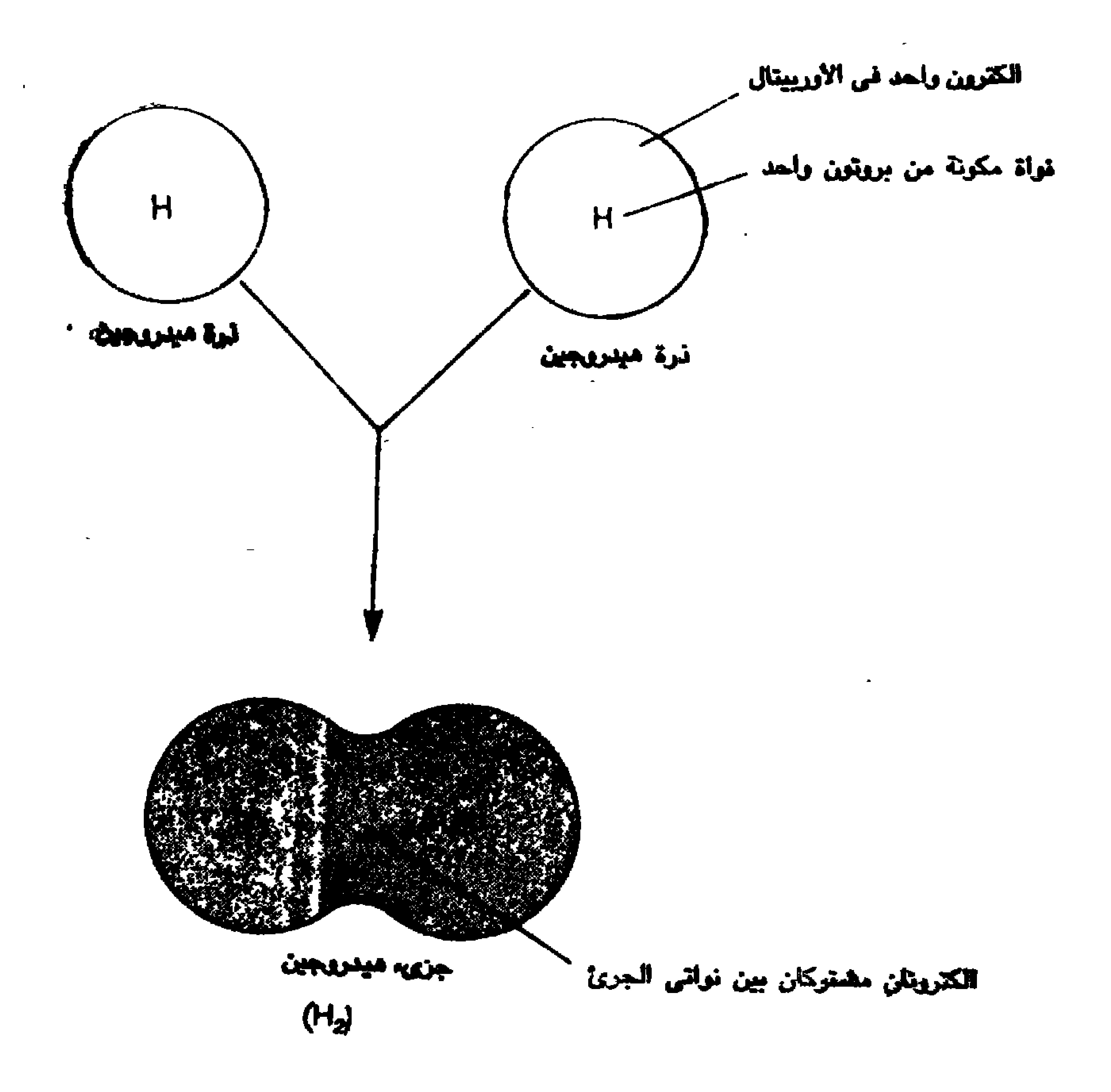
وتتم أبسط التفاعلات مع أبسط الـــذرات جميعـــا ، وهى ذرات الهيدروجين ، التى تحتوى على بروتون واحد والكترون واحد . فعندما

تتصادم ذرات الهيدروجين فانها غالبا ما ترتد عن بعضها البعض ، لكنها تتفاعل أحيانا لتكوين جزىء هيدروجين ، كما يظهر فى الشكل ١١ — ١ . وجزىء الهيدروجين هو مجرد شكل معاد ترتيبه من ذرتين هيدروجين تختفى فيه كينونة كل ذرة منفردة لتندمجا فى جزىء واحد . وتتوزع الالكترونات فى هذا الجسيم الجديد بين البروتونين ( بمعنى آخر بين النواتين ) بدلا من أن يحيط كل الكترون بذرة واحدة فقط . وتشغل الالكترونات الموزعة حيزاً مدارياً جزيئياً يحيط بالنواتين ، بدلا من ذلك التى يحيط بنواة واحدة فقط ، وبتعبير أقل دقة ، يمكن اعتبار جزىء الهيدروجين كذرة ذات نواتين .

وكلما اتحدت ذرات من خلال المشاركة فى الالكترونات نقول ان جزيئا قد تكون بغض النظر عن عدد الذرات الموجودة وعدد الالكترونات التى اشتركت . لذا تعرف الجزيئات بأنها الجسيمات التى تماسكت فيها ذرتان أو أكثر بغرض المساهمة ببعض الالكترونات فيما بينها . ونصف تجمعات الذرات هذه بأنها تتماسك بواسطة « روابط » كيميائية بين الذرات ؛ ولكن ما السبب فى وجوب تكون الروابط الكيميائية ؟ ولماذا تتحلل هذه الروابط أحيانا ؟ ما الذى يجعل التفاعلات الكيميائية ، والتى تتضمن عادة كلا من تكوين روابط وهدم روابط ، تستمر ؟

فالتفاعلات الكيميائية هى كل ما يحدث عندما تتصادم المواد الكيميائية وتدفع القوة الكهرومغنطيسية وتجذب الكتروناتها ونوياتها فى ترتيبات جديدة . وعلى ذلك فالطاقة الحركية للحركة والقوة الكهرومغنطيسية هما العاملان البادئان للتغيير الكيميائى ، ولكنا حين ناخذ فى الاعتبار القانون الثانى للديناميكا الحرارية السابق ذكره فى الفصل العاشر ، يتحتم علينا البحث عن تشتت الطاقة ، كمتحكم فى اتجاه هذا التغير .

وبنظرة فاحصة أكثر الى ابسط التفاعلات ، المكون لأبسط الجزيئات المكنة ، والتى تتماسك ببعضها البعض بأبسط الروابط المكنة ، نتخيل ذرتى هيدروجين تقتربان فى طريقهما للتصادم . فعندما تقتربان ، تبدأ قوى التجاذب والتنافر الكهربى بين الذرات فى الظهور . وتنشأ قوة تجاذب بين الكترون كل ذرة ونواة الذرة ( بروتون واحد فى هذه الحالة ) المقتربة منها ؛ لكن الالكترونين فى كلا الذرتين يتنافران ، كما تتنافر النواتان أيضا . وعندما يحدث التصادم بين الذرات ويجلب معه طاقات وفى اتجاهات تؤدى لتغلب القوة الطاردة ، ترتد الذرات بفعل الصدام ؛ الا أن بعض التصادمات قد تتم بطريقة تحقق الفوز لسيادة القوى




شكل ( ١١ ـ ١ ) تكوين جزىء هيدروجين

الجاذبة ، يبدأ بعدها اعادة ترتيب كامل للالكترونات ، لتكون تركيبا متحدا له طاقة أقل من تلك الذرات المنفصلة . فالتركيب ذو الطاقة الأقل ، هو ذلك التركيب الذى تشترك فيه النواتين فى الكترونين ، مما يؤدى الى اتحاد الذرتين برابطة كيميائية .

وعلى ذلك ، ماذا يحدث للطاقة المتبقية نتيجة لاستقرار الذرات فى ترتيبها الجزيئى الجديد ؟ بالطبع لا يمكنها أن تختفى ، لذا فهى تنتقل الى مكان آخر . فالبعض منها قد يفقد فى صورة اشعاع كهرومغنطيسى ، ينبعث عندما تهبط الالكترونات من مدارات الطاقة العالية ، التى دفعت اليها خلال التصادم ، الى مدارات الطاقة الأدنى فى الحالة الجزيئية المستقرة . وقد تطلق العديد من التفاعلات الكيميائية ضوءا نتيجة انفجار خلال الهبوط المشار اليه .

ويمكن أن تختزن الطاقة المفقودة نتيجة إعادة الترتيب الالكترونى للتفاعل لفترة من الوقت داخل نواتج التفاعل ، مثل جزىء هيدروجين ، فى صورة ذبذبات داخلية للجزىء الجديد . فالروابط الكيميائية قريبة الشبه بالزنبرك ، بحيث يمكن لذرتى جزىء الهيدروجين أن يتذبذبا متقاربين أو متباعدتين ، فان تباعدا ، كان ذلك ضد قوة الشد التى تربط الجزىء ببعضه ؛ وان تقاربا ، كان ذلك ضد قوة التنافر الكهربية بينهما ، وفى كلتا الحالتين تزداد الطاقة عن الطاقة الأدنى التى يحاول الجزىء استعادتها ، فيتحول التباعد الى تقارب أو العكس ، وتختزن بعض الطاقة خلال العملية ، بالضبط كما تختزن فى زنبرك فى حالة من الانضغاط والتمدد .

غير أن طاقة التذبذب هذه لا يمكن أن تستمر للأبد ، فسرعان ما تتلاشى مشتتة فى البيئة المحيطة بها ، نتيجة للتصادمات بين جزىء الهيدروجين الجديد والجسيمات الأخرى الموجودة للوصول الى توزيع متساو للطاقة ، على ما قدمنا فى فصل الانتروبيا .

وعلى ذلك ، فسرعان ما يتشتت فرق الطاقة بين الحالة الذرية الحرة لذرتى الهيدروجين والحالة الجزيئية المتحدة ، فى صورة طاقة حركية لجميع الجسيمات المحيطة ، مما ينتج عنه أن يظل الجزىء فى حالته هذه ، حيث يعز عليه استعادة الطاقة التى تعيده الى حالته الأولى . وقد تم هذا التفاعل الكيميائى نتيجة حركة الذرتين التى جعلتهما يتصادمان ، والقوة الكهرومغناطيسية التى اعادت توزيع تركيبهما ؛ وتشتت الطاقة — القوة الدليلية الأساسية لكل تغير — والذى ضمن استقرار المكون الجديد .

وهناك تفاعل بسيط آخر ، لكنه معقد بعض الشىء يحدث عندما يتكون الماء من خليط من غازات الهيدروجين والأكسجين . ويعتبر هذا تفاعلا انفجاريا — وهو من نوع التفاعل الذى يكون مصحوبا بقدر هائل من الطاقة فى فترة وجيزة ، تدفع الجزيئات والغازات المنضغطة فى عنف ، لدرجة أنه يمكن أن تنطلق به مركبات الفضاء نحو مداراتها .

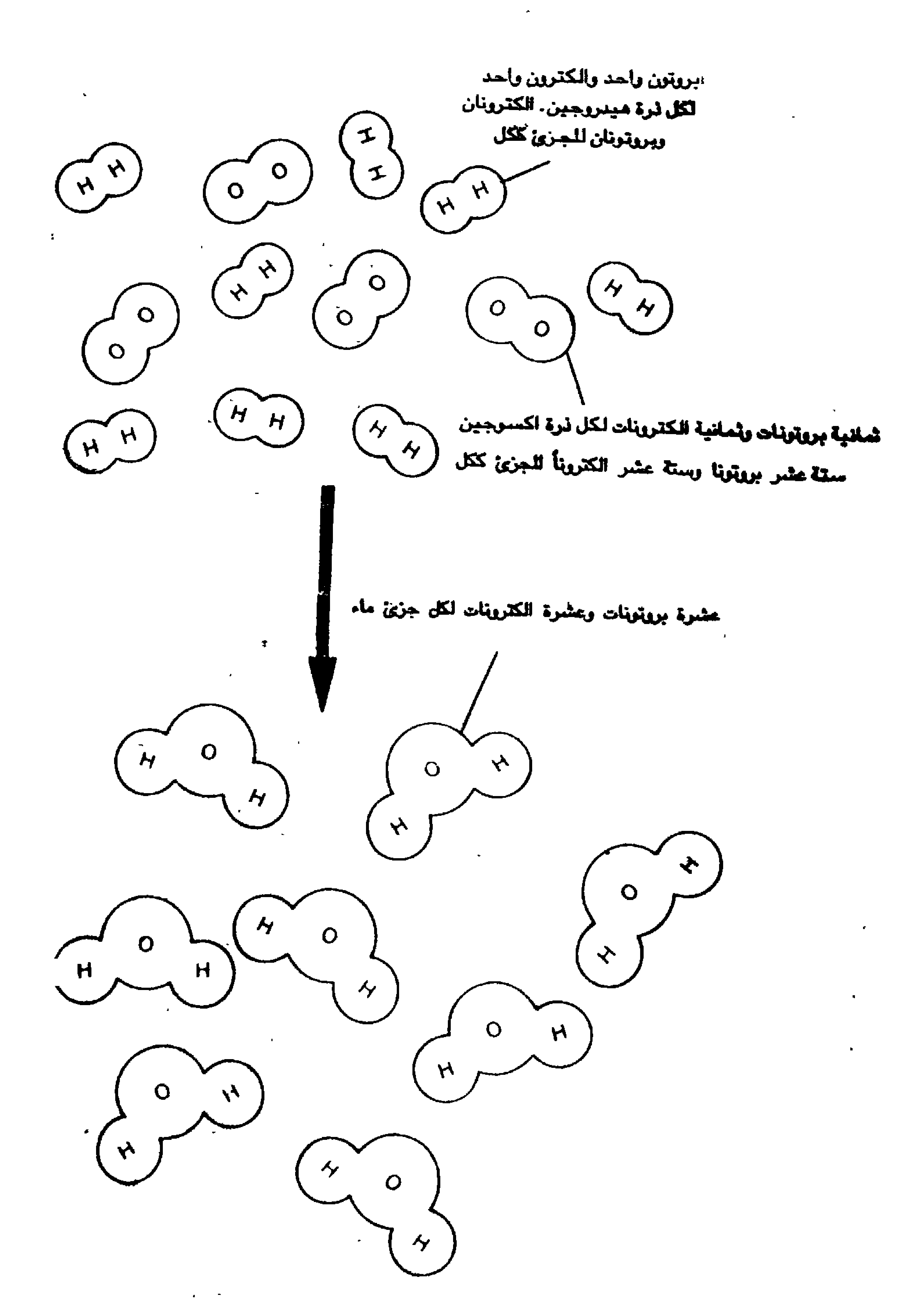
يحتوى غاز الأكسجين على جزيئات الأكسجين ، الذى يتكون كل منها من ذرتى اكسجين ( ولذلك يرمز لـه بالرمز الكيميائى $O_2$ ) تتماسكان بواسطة الالكترونات التساهمية ( انظر شكل ١١ — ٢ ) . وتحتوى كل ذرة اكسجين على ثمانية الكترونات ( وبالطبع ثمانية بروتونات داخل نواتها ) ، وعلى ذلك يوجد بجزىء الأكسجين ستة عشر الكترونا . ويتكون غاز الهيدروجين من جزيئات الهيدروجين $H_2$ ويحتوى كل جزىء على ذرتى هيدروجين مرتبطتين ببعضهما البعض بواسطة الالكترونات التساهمية . الا أن كل ذرة هيدروجين تحتوى على الكترون واحد فقط ( وبروتون واحد ) ، بحيث لا يوجد الا الكترونان اثنان فقط فى جزىء الهيدروجين . وجزيئات الماء التى تتكون من تصادم وتفاعل جزيئات الأكسجين والهيدروجين ، تتكون من ذرة أكسجين مركزية مرتبطة بذرتين هيدروجين ( انظر شكل ١١ — ٢ ) ، وتكون الصيغة الكيميائية لجزىء الماء $H_2O$

ويتضمن التفاعل الذى يحدث بين الهيدروجين والأكسجين لتكوين جزىء الماء اعادة تنظيم رئيسية للالكترونات ، ذلك التنظيم المعاد الذى يستهل بالرفع المبدئى للطاقة الداخلية للجزيئات ، قبل السماح لهـا بالسقوط الى ترتيب الطاقة الأدنى المعاد والجديد للماء . وهذا يعنى أنه لكى يحدث التفاعل ، يجب أن يكون التصادم بين جزيئات الأكسجين والهيدروجين تصادما عنيفا جدا ، شىء يمكن الوصول اليه عن طريق تسخين بعض الجزيئات منهما بواسطة لهب أو شعلة فى خليط صغير من الأكسجين والهيدروجين . ويكفى قدر صغير من اللهب لاطلاق الطاقة ، وعندما تتكون الجزيئات القليلة الأولى من الماء فان الطاقة المنبعثة من التفاعل تعمل على حفز المزيد من الذرات على التفاعل ، وهو ما يؤدى الى التفاعل الانفجارى الذى سرعان ما ينتشر خلال الخليط بسرعة تبدو لنا وكأنها لحظية . ولا تعتبر هذه السرعة لحظية بالنسبة للعالم الدقيق بطبيعة الحال ، فهى تعتبر بالفعل بالغة التعقد ، إذ تتضمن الكثير من المراحل المتوسطة والشظيات غير المستقرة من الجزيئات ، ولكن على الاجمال ، ينتج عنها اعادة تنظيم دقيق ومنسق

للالكترونات التى يمكن وصفها فى سهولة تامة . فكل ذرة أكسجين تشارك بالكتروناتها ذرتى هيدروجين ، وكل ذرة هيدروجين تشارك بالكتروناتها ذرة أكسجين وذرة هيدروجين أخرى . والشحنة الكهربية الموجبة الكلية ( أى العدد الكلى للبروتونات ) التى تحملها النوى الثلاثة فى جزىء الماء تكون ٨ + ١ + ١ = ١٠ ، بينما يكون العدد الكلى للشحنة السالبة ( أى العدد الكلى للالكترونات ) هو أيضا ٨ + ١ + ١ = ١٠ . وعلى ذلك يعتبر جزىء الماء ، مثل كل الجزيئات متعادلا كهربيا على الاجمال ، وتعتبر الكتروناته وأنويته فى ترتيب طاقة أدنى الى حد بعيد عن الوضع الذى كانت عليه قبل التفاعل .

وقد قابلنا حتى الآن ثلاثة أمثلة للروابط الكيميائية : الروابط التى تربط ذرات الهيدروجين ببعضها البعض فى جزىء الهيدروجين ، والروابط التى تربط ذرات الأكسجين ببعضها البعض فى جزىء الأكسجين والروابط التى تربط ذرات الأكسجين والهيدروجين ببعضها البعض فى جزىء الماء . وجميع هذه الروابط هى فى حقيقة الأمر نتيجة المشاركة فى الالكترونات بين نوى الذرات المختلفة . وتعرف الروابط التى تربط بين الذرات ببعضها البعض بواسطة المشاركة الالكترونية بـ « الروابط التساهمية » Covalent Bonds ، لكن هناك اختلافاً مهماً بين الروابط التساهمية التى تربط بين جزيئات الأكسجين أو الهيدروجين ببعضها البعض والروابط التى تربط بين جزيئات الماء . ففى جزىء الهيدروجين ، تكون المساهمة بعدد متساو من الالكترونات ، حيث تحمل كلا الذرتين نفس القدر من الشحنة الموجبة : +١ . وأقصد « بالتساهم المتساوى » أن الغلاف الالكترونى المحيط بالنواتين متماثل تماما ، وليس منحازا لنواة دون الأخرى . ونفس الشىء بالنسبة لجزىء الأكسجين ، كل ذرة أكسجين متساوية فى الشحنة الموجبة بالأخرى ، +٨ ، وعلى ذلك تتوزع الالكترونات بصورة متساوية بينهما .

غير أنه فى جزىء الماء ، تتوزع الالكترونات التى تمسك الجزىء ببعضه البعض بين نواة اكسجين ذات شحنة + ٨ ونواتى هيدروجين شحنة كل منهما + ١ ، وينتج عن ذلك أن تتجاذب الالكترونات بصورة اقوى نحو نواة الأكسجين عنها نحو نواتى الهيدروجين ، وعلى ذلك فالمدارات المشغولة بالالكترونات التساهمية ، ليست متماثلة ، لكنها منحازة تجاه نواة الأكسجين . وهذا يعنى أن الجزىء يحمل شحنة سالبة قليلا حول ذرة الأكسجين ، حيث ان هذه المنطقة من الجزىء لها مساهمة أكبر من الالكترونات التساهمية ، فى حين توجد مناطق من الشحنة الموجبة قليلا حول ذرات الهيدروجين ، والتى تعتبر الكتروناتها




شكل ( ١١ ـ ٢ ) تتحد جزيئات الاكسجين مع جزيئات الهيدروجين لتكون جزيئات الماء .

مسروقة الى حد ما بواسطة نواة الأكسجين . هذه الشحنات الطفيفة أو الجزيئية ، يرمز لها بشحنات (+δ) (—δ)) للتمييز بينها وبين الشحنات السالبة والموجبة التى يرمز اليها بـ + و — .

وتعرف الروابط التساهمية التى تشتمل على تساهم غير متساو للالكترونات،مثل روابط جزىء الماء بالترابط التساهمى القطبى Polar covalent حيث يسبب عدم التوزيع المتساوى للالكترونات ، استقطاباً للشحنة الكهربية فى قطب سالب الشحنة قليلا (— δ) قطب موجب الشحنة قليلا (+ δ) ومن الواضح أن مقدار الاستقطاب يعتمد على الفرق بين القوة الجاذبية للاكترون فى النويات المستخدمة . وتعرف القوة الجاذبة لنواة ذرية للالكترونات عندما تستخدم ذرتها فى رابطة تساهمية « بالسالبية الكهربية Electronegativity » للذرة .

وتعتبر السالبية الكهربية واحدة من المفاهيم الأساسية فى الكيمياء ، ومن ثم فهى تستحق المزيد من الايضاح . فيمكن النظر الى كل الكيمياء على انها تنافس بين أنوية الذرات على الالكترونات المنجذبة اليها بقوة . وعندما يبدأ التفاعل الكيميائى ، تحاول النوى الذرية داخل المواد الكيميائية حسم التنافس لصالحها باكتساب أكبر قدر ممكن من الالكترونات المتاحة . وفى بعض الحالات ينتهى الحال بالذرات الى المشاركة بالالكترونات بصورة متساوية فى الروابط التساهمية ؛ وفى حالات أخرى تساهم الذرات بالالكترونات بصورة غير متساوية فى الروابط القطبية ؛ بينما يحدث فى بعض الأحيان أن تفوز بعض الذرات بالالكترونات بالكامل، وتفقد ذرات أخرى الكتروناتها بالكامل ، لتكوين نوع آخر من الروابط يعرف بالروابط الأيونية Ionic Bonds ، التى سأناقشها لاحقا .

ويعتمد تفوق الذرة فى المنافسة على الالكترونات على مقدار قوة نواتها فى جذبها اليها . وتعتمد قوة الجذب هذه بدورها على عاملين : عدد البروتونات ذات الشحنة الموجبة الموجودة بالنواة ( العدد الذرى طبقا للجدول الدورى ) ؛ وهو عامل ايجابى فى التنافس ، فكلما زادت الشحنة الموجبة ، زادت قوة جذب النواة للالكترونات ( السالبة ) . أما العامل الثانى فهو عدد الأغلفة المحيطة بالنواة ، وهو عامل سلبى ، لأن هذه الأغلفة ممتلئة بالالكترونات ( عدا الداخلة فى التفاعل ) ، وهى اذ تتنافر مع الالكترونات التى عليها التنافس يكون دورها أشبه بستارة حاجبة تعاكس النواة فى جذبها للالكترونات . والسالبية الكهربية لذرة ما هى المقياس الكمى لمدى قدرتها على جذب الالكترونات نحوها —

وبمعنى آخر ، هى عدد يعطى قيمته قياساً لقوة جذب الالكترون ، ويتضمن حاصل التأثيرين المتضادين المذكورين .

وتوجد معظم الذرات ذات الشحنة الكهربية السالبة بالجهة اليمنى العليا من أعلى الجدول الدورى ( انظر الفصل التاسع الشكل ٩ — ١ ) ، بينما توجد الذرات ذات الشحنة الكهربية السالبة الأدنى ( والتى تسمى أحيانا بالذرات ذات الشحنة الكهربية الموجبة الأعظم ) فى نهاية الجدول جهة اليسار ؛ وبصفة عامة كلما تباعدت أية ذرتين فى الجدول الدورى ، تعاظم الفرق فى سالبيتهما الكهربية . ويعنى ذلك أن ذرات العناصر المتقاربة فى الجدول الدورى تميل نحو الارتباط فى روابط تساهمية استقطابية ، عندما تتحد فى مركبات كيميائية . ولما كانت متقاربة من بعضها البعض ، فان سالبيتها الكهربية ، ستكون متقاربة الى حد ما ، وبذلك تساهم بالالكترونات ، على الرغم من أنها تكون غير متساوية بعض الشىء فى انحيازها نحو الذرة ذات الشحنة الكهربية السالبة العظمى . الا أن ذرات العناصر المتباعدة عن بعضها البعض فى الجدول الدورى ، غالبا ما تساهم بنوع آخر من الروابط تعرف بالروابط الأيونية . وتتكون هذه الروابط عندما يكون الفرق فى السالبية الكهربية من الكبر بحيث يتسبب فى أن تتخلى احدى الذرات عن الكترون أو أكثر تماما ، وتقتنصه الأخرى تماما لنفسها . وسوف ندرس هذه الروابط الأيونية الآن ، بعد التأكيد مرة أخرى على الأهمية الكبيرة للسالبية الكهربية فى مجال الكيمياء . وتوضح السالبية الكهربية لذرة ، مقامها فى المنافسة الكبرى على الالكترونات التى تقع فى صميم كل تغير كيميائى ، وهى تجعلنا نتفهم نتائج كل من المنافسات الفردية على الالكترونات ، التى نسميها بالتفاعلات الكيميائية ، وتتيح لنا التنبؤ بالنتائج المحتملة للتفاعلات التى لم نلاحظها بعد .

وكما قلت ، فعندما يكون الفرق بين السالبية الكهربية للذرات عظيما ، فان بعضا من الالكترونات تنتزع بالكامل من احدى الذرات وتنتقل الى الذرة الأخرى ، والتفاعلات التى تتضمن نقل الالكترونات تخلق جسيمات ذات شحنة كهربية ، تسمى « بالأيونات » ، وهى تتماسك مع بعضها البعض بواسطة « روابط أيونية » . والمادة الكيميائية البسيطة المعروفة بكلوريد الصوديوم ، والتى تسمى بملح الطعام ، الذى ننثره فوق الطعام ، ستستخدم كمثال مناسب للمركب الأيونى المتماسك من خلال هذه الروابط الأيونية .

لنأخذ فى الاعتبار ذرة صوديوم وذرة كلور ، يظهران فى صورة بسيطة جدا فى شكل ١١ — ٣ . فعندما يتم تفاعل بين هذين العنصرين،

« تهب » ذرة صوديوم الكترونا لذرة كلور ، كما هو مبين بالشكل .
وهذا يخلق موقفا جديدا ، تتحول فيه ذرة الصوديوم الى جسيم لم يعد متعادلا كهربيا ، وبمعنى آخر الى أيون . فشحنتـه النوويـة + ١١ مقابل ١٠ الكترونات فقط بدلا من الأحد عشر الكترونا الأصلية ، وتصبح شحنته الكلية مقدارها + ويسمى أيون الصوديوم(يرمز له بالرمز + Na) أما ذرة الكلور الأصلية فقد تحولت أيضا الى أيون ، يسمى بأيون الكلور ، أيون سالب Cl− بما اكتسب من الكترون اضافى سالب الشحنة . وتتجذب الأيونات + Na و Cl − نحو بعضهمـا البعض بصـورة قوية بواسطة القوة الكهرومغناطيسية .

ولذا بمجرد أن تتكون فانها تتحرك مع بعضها البعض وتصبح « ملتصقة » باحداها الأخرى بما يعرف بالرابطة الأيونية . هذه الرابطة هى فى الأساس مجرد قوة التجاذب بين الأيونـات الموجبة والأيونات السالبة .

واذا أمكنك أن تدنو الى مستوى الأيونات الموجودة فى حبة ملح ، فسوف ترى شبكة ثلاثية ممتدة الأبعاد من أيونات الكلور والصوديوم ، تتماسك جميعها بالروابط الأيونية فى مصفوفة منتظمة تعرف بـ «الشبيكة الأيونية ionic lattice . ولا توجد جزيئات فى هذه شبيكة ، حيث ان الجزيئات هى جسيمات متعادلة كهربيا ، تتماسك فيها اثنان أو أكثر من الذرات مع بعضها البعض بواسطة الروابط التساهمية ( بما فيهـا الروابط التساهمية الاستقطابية ) ، ولا توجد ذرات حرة ، أيضا لأن الذرات متعادلة كهربيا . وبدلا من ذلك ، لا توجد سوى أيونـات ، النوع الثالث والأخير الأساسى من الجسيمات الموجودة فى الكيمياء ، والتى هى فى الواقع ذرات فقدت أو اكتسبت الكترونات ، وتترك بشحنة كهربية كلية . وعلى ذلك ، فجسيمات الكيمياء هى : الذرات والجزيئات والأيونات ؛ ويتكون كل منها من جسيمات دون ذرية ، هى البروتونات والنيوترونات والالكترونات .

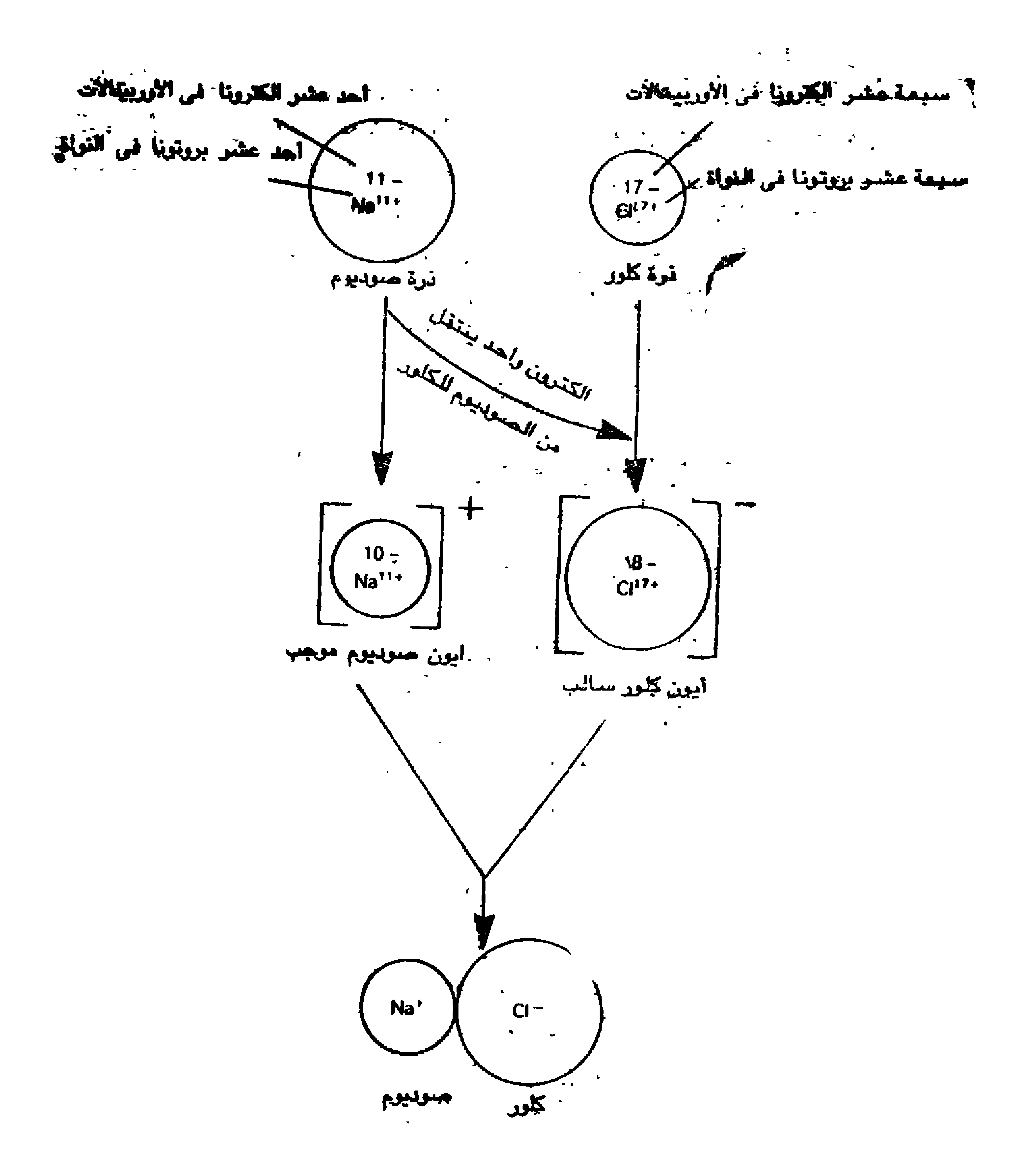
وبما أننا تعرفنا على الرابطة الأيونية ، فقد نتساءل ما السبب فى بقائها ، ومن الآن فقد يحتمل أن تتوقع أن الاجابة كامنـة فى الطـاقة وتشتتها . فالحالة الأخيرة فى شكل ( ١١ — ٣ ) ، والتى يتجاور فيها أيونا الصوديوم والكلور فى وئام ، تعتبر فى حالة من الطاقة أدنى مما كانت عليه والذرتان طليقتان قبل التفاعل.وسوف تتبدد الطاقة المتبقية عن الترابط الأيونى بصورة طبيعية فى البيئة المحيطة ، تاركة ذرتى الصوديوم والكلور أسيرتى الرابطة الأيونية الجديدة . وعلى ذلك ، فالتفاعلات التى تولد الأيونات والروابط الأيونية ، يكتب لمنتجاتها البقـاء لنفس

الأسباب مثل التفاعلات التى تتولد عنها الجزيئات والروابط التساهمية — لأن الطاقة الفائضة بعد الترابط تنتشر متبددة فى الكون .

وقد تحمل الأيونات شحنات مضاعفة مثل + ٢ ، — ٢ ، أو +٣ أو —٣ ، بحسب عدد الالكترونات الداخلة فى « الصفقة » . وتتجمع هذه الأيونات المشحونة فى شبيكات تتماسك مع بعضها البعض بواسطة الروابط الأيونية ، كما بينا فى مثال الكلور والصوديوم . الا أنه توجد صورة أخرى من التفاعلات ، تتكون فيها ما يسمى بـ « الأيونات الجزيئية Ionic Molecules أو« الأيونات المركبة Compound Molecules » وهى تتكون من عديد من الذرات مترابطة بروابط تساهمية ، لكنها تحمل شحنات كهربية موجبة أو سالبة على الاجمال . والأمثلة الشائعة على ذلك ، أيونات الأمونيوم + NH الذى ترتبط فيه ذرة نتروجين مركزية برابطة تساهمية بأربعة ذرات هيدروجين ، ويحمل المركب ككل شحنة موجبة واحدة ؛ وأيونات الكربونات $CO_3$ 2 المتكونة من ذرة كربون مرتبطة تساهمياً بثلاث ذرات أكسجين ، وجميعها بشحنة — ٢ على الاجمال . مثل هذه الأيونات المعقدة تتجمع أيضاً فى شبكات أيونية .

لقد قابلنا حتى الآن الأنواع الثلاثة من الروابط القوية ، التى تربط الأيونات والذرات ببعضها البعض ، لتعطى الأشياء المحيطة بنا الانطباع بالقوة والصلابة . وهذه هى الروابط التساهمية الخالصة والروابط التساهمية الاستقطابية التى تتكون عن طريق الالكترونات التساهمية بين الذرات ( وتسمى هاتان الرابطتان بشكل عام بالروابط التساهمية ، أخذا فى الاعتبار بأن الرابطة التساهمية الخاصة لا تكون الا بين ذرات نفس العنصر ) ؛ والروابط الأيونية التى تربط بين الأيونات التى تحمل شحنات كهربية مختلفة . وبالطبع ، فى جميع الحالات ، فان القوة الأساسية المسئولة عن ربط الذرات والأيونات فى تجمعات كبيرة هى القوة الكهرومغنطيسية التى بها تتجاذب الشحنات المختلفة وتتنافر المتشابهة . الا أن هناك أنواعا أخرى قليلة من الروابط سوف نعرض لها ، قبل أن نرى المنظومة الكاملة من « المواد اللاصقة » المتاحة فى عالم الكيمياء . من ذلك الرابطة بين ذرات المعادن ، وبعض الروابط الأخرى الضعيفة للغاية التى توجد بين الذرات والجزيئات .

وتعرف غالبية العناصر الموجودة على يسار الجدول الدورى ، بالفلزات . وينبنى تصنيف العناصر الى فلزات وأشباه فلزات ولا فلزات على عدة خصائص . واحد أهم هذه الخصائص المميزة ، هى ميل الكترون أو أكثر من الغلاف الخارجى لذرات الفلزات الى الهروب من هذه الذرات لتتجول حرة داخل العنصر من ذرة الى ذرة ، لدرجة أن بناء أى فلز يتكون فى الأساس من مصفوفة من أيونات فلزية مشحونة




شكل ( ١١ ـ ٣ ) تتفاعل ذرات الصوديوم والكلور لتكوين كلوريد الصوديوم ، وتتماسك مع بعضها البعض بواسطة رابطة ايونية ( يوجد الكلور عادة في صورة جزيئات كل٢ بينما استخدمنا الذرة الطليقة هنا بغرض التبسيط ، وعندما يتفاعل الصوديوم مع جزيئات كل٢ تعطي كل ذرة صوديوم الكترونا الى كل ذرة من ذرات الكلور ، وعلى ذلك تكون القوى المتفاعلة ونتائج التفاعل واحدة .

شحنة كهربية ، محاطة ببحر من الالكترونات المتنقلة (٢) . ويفسر هذا البحر الالكترونى داخل بناء الفلزات ، استعداد هذه الفلزات لتوصيل الكهرباء بسهولة . فالتيار الكهربى ، هو عبارة عن سيل من الالكترونات ينتقل تحت تاثير الضغط الكهربى ، والبحر الالكترونى داخل الفلزات ، كالنحاس والألومينيوم وغيرهما من الموصلات الكهربية زاخر بالالكترونات الحرة ، التى يمكن أن تحدث هذا التيار .

ويعمل البحر الالكترونى داخل الفلز أيضاً كمادة لاصقة تترابط بها أجزاء المعدن . فالالكترونات الحرة تجذب الأيونات الموجبة ، فتربط بينها وتعطي المعدن تماسكه المعروف . وتعرف هذه الظاهرة بالترابط المعدنى Metallic Bounding ، حيث انها تعمل على ربط الجسيمات من الفلز فى تركيب متماسك .

وتعتبر الروابط التساهمة والأيونية والمعدنية روابط قوية ، وبمعنى آخر ، روابط لا يمكن أن تنفصم الا بادخال طاقة وفيرة . الا أن هناك العديد من الروابط الكيميائية الأكثر ضعفا ولكنها اكثر خفاء ، تتمثل بصفة عامة فى قوة تجاذب ضعيفة بين ذرات منفردة وجزيئات . وبالرغم من ضعفها النسبى ، بل فى الحقيقة غالبا بسبب هذا الضعف ، الذى يجعلها على استعداد للانفصام والتشكل مرة اخرى ، فهى من أهم الروابط المؤثرة على الاطلاق . وعلى ذلك سوف نوليها ما تستحقه من الاهتمام .

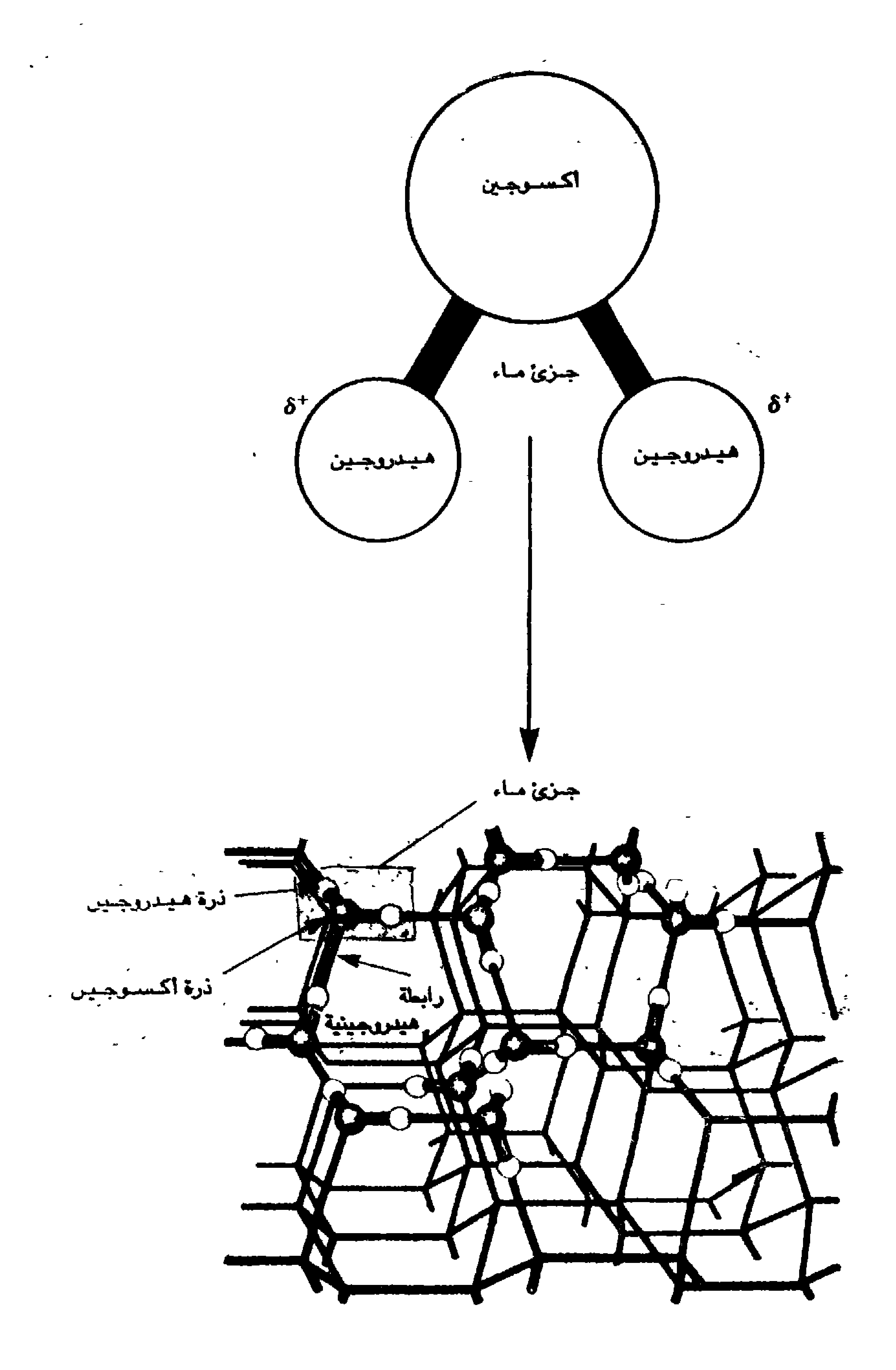
وقد رأينا كيف تنجذب أيونات حاملة شحنة موجبة كاملة وأيونات تحمل شحنة سالبة كاملة نحو بعضها البعض فى رابطة أيونية . وتحمل العديد من المواد الكيميائية شحنات كهربية جزئية مصاحبة لروابط تساهمية استقطابية ، ويمكن أن تعمل هذه المناطق ذات الشحنة الجزئية على ربط الجزيئات المختلفة ببعضها البعض وتحملها فى مركب غير متين الأواصر . وتقدم جزيئات الماء واحداً من أفضل الأمثلة ( انظر الشكل ١١ — ٤ ) . وتذكر أن ذرات الهيدروجين فى جزىء من الماء تحمل شحنة +δ بينما تحمل ذرة الأكسجين شحنة −δ بسبب أن الرابطة بين ذرات الأكسجين والهيدروجين هى من النوع التساهمى الاستقطابى . وكما يظهر من شكل ١١ — ٤ ، فان هذا يجعل القوى الكهربية تجذب جزيئات الماء فى شبكة ذات ترابط خفيف ، تتماسك فيها جميع ذرات الهيدروجين مع ذرات الاكسجين . وبمعنى آخر توجد قوة تجاذب بين جزيئات الماء المتجاورة ، وتعرف هذه القوة بالرابطة الهيدروجينية

Hydrogen Bond ، نتيجة للدور الأساسى لذرات الهيدروجين فى ربط جزيئات الماء ببعضها البعض . وهذه القوة الجذبية ضعيفة جداً بالمقارنة بالروابط الكاملة الأخرى ، وعلى ذلك فالشكل الشبيه بالقفص ( شكل ١١ — ٤ ) ، يمكن تمزيقه بسهولة عن طريق ادخال بعض من الطاقة الحرارية . وتمتد هذه الروابط الى مناطق كبيرة من الماء فى حالة تجمده ، ولكن حتى فى زجاجة ماء فى درجة حرارة الغرفة ، سوف تكون هناك مناطق صغيرة من هذا التركيب الشبيه بالقفص ، وتتعرض جزيئات الماء الى قوة جذب ضعيفة من جيرانها . وقوة الجذب هذه لها بعض التأثيرات المهمة . فعلى سبيل المثال ، فهى تجعل درجة حرارة غليان الماء ١٠٠ درجة مئوية ، بينما لولا هذه القوة ، لكانت هذه الدرجة أقل من ذلك بكثير ، وبالتالى فان الحياة التى نعرفها لم يكن لها أن تظهر على الأرض ، فكل الماء الموجود داخل خلايا أجسامنا ، كان سيغلى ويتحول الى غاز . وعلى ذلك ، فبالرغم من ضعف هذه القوى « بين الجزيئية » ، الا انها فى غاية الأهمية .

وتوجد ايضا قوى جذبية أضعف بين جميع الذرات وجميع الجزيئات، التى تعرف بقوى فان درفالس Van Der Waals Force أو روابط فان درفالس Van der Wells bonds ولكى نفهم مصدر هذه القوى ، يجب أن ندرك أن مناطق الشحنة الموجبة الطفيفة جدا ومناطق الشحنة السالبة الطفيفة جداً ، تظهر وتختفى على الدوام على سطح أى مادة كيميائية . فهى تعتبر كما لو كانت الحركة العشوائية من جميع الالكترونات تخلق وتدمر لحظيا وبصورة مستمرة مناطق تجمع للالكترونات . وعندما يحدث ان تكون هذه المناطق ذات الشحنة الموجبة الطفيفة مناطق مقابلة من الشحنة السالبة الطفيفة فى الجزيئات المجاورة ، فان المنطقتين ستنجذبان ، وتميلان للالتصاق .

وعلى ذلك ، فهناك قوى ضعيفة جداً من نوع فان درفالس تعمل بين جميع الذرات والجزيئات المتجاورة ، تميل الى ضم الجيران بعضها الى بعض برفق ، الا اذا اكتسحتها تاثيرات اكثر قوة .

وقد قابلنا حتى الآن كل الروابط الرئيسية أو « القوى الرئيسية » فى الكيمياء : الروابط الكاملة التساهمية والتساهمية الاستقطابية والأيونية ؛ وقابلنا أيضا الروابط الأضعف التى يمكن أن تجذب الذرات والجزيئات المجاورة مع بعضها البعض بطريقة خفيفة . الا انه أيا كانت التفاصيل ، فان قوة الجذب الكهرومغنطيسية بين الشحنة الكهربية




شكل ( ١١ ـ ٤ ) الرابطة الهيدروجينية فى الماء ( لمزيد من التفاصيل ارجع الى النص ) ٠

السالبة والموجبة هو القوة المؤثرة فى جميع الروابط الكيميائية . والتفاعلات الكيميائية هى كل ما يحدث عندما تصطدم جسيمات الكيمياء — الذرات والجزيئات والأيونات — للسماح للقوة الكهرومغنطيسية بأن تدفع وتجذب الكتروناتها ، هادمة بعض الروابط الموجودة ومنشئة لأخرى . وهذا هو جوهر الكيمياء ، ولكن لا يزال هناك الكثير الذى يجب أن يقال حول بعض تعقيداتها وخفائها . وسوف نتعامل مع بعض من ذلك فى الفصل القادم ، كيما تتكون لدينا فكرة أوضح عن طبيعة التفاعلات الكيميائية .

الا انه يمكننا أن نغطى احدى السمات المهمة هنا عن التفاعلات الكيميائية ، عندما نسترجع فى عجالة نظرة أولية سريعة للكيمياء . فقد رأينا كيف أن الهيدروجين ، ذلك الغاز المتفجر ، والأكسجين ، ذلك الغاز الذى يساعد على الاحتراق ، يمكن أن يتفاعلا سويا لتوليد الماء ، وهو السائل الذى يستخدم لاطفاء الحريق . وقد رأينا كيف أن الصوديوم، الفلز الذى ينفجر الى لهب عندما يتحد بالماء ، والكلور ، ذلك الغاز السام ، يتفاعلان لتكوين كلوريد الصوديوم ، الذى لا نستغنى عنه فى طعامنا ! هذان المثالان يوضحان بجلاء قوة الكيمياء فى تحويل خصائص المواد الكيميائية . فعندما تتفاعل المواد الكيميائية لتتخذ صورة جديدة، تكون خصائص المنتجات الجديدة فى الغالب مختلفة تماما عن خصائص المواد الداخلة فى التفاعل . فما يحدث أثناء اى تفاعل ، هو أن نوى والكترونات المنتجات ، تصبح منظمة بطريقة ما ، وفى النهاية يكون لدينا نفس نوع الذرات ، نفس الالكترونات ونفس النوى ؛ لكن ترتيب هذه العناصر قد تغير . والكيمياء هى دائما عملية اعادة تنظيم ، بغض النظر عن التفاعل الكيميائى المعين المستخدم ؛ وتكمن القوة الكبيرة فى الكيمياء ، فى أنها مجرد اعادة ترتيب لقطع وأجزاء المواد الكيميائية — الكتروناتها وانويتها — بما يمكن أن تحول خصائصها تغييرا جذريا .

# الاتـــزان

## EQUILIBRIUM

---

اننا ، ونحن فى مسيرتنا لاستكشاف جوهر الكيمياء ، محتاجون الى نوع جديد من الرسوم البيانية يعرف بـ « مخطط توزيـــع الطاقـــة energy profile diagram » . ويقدم شكل ١٢ — ١ انموذجا مبسطاً يبين بطريقة تقريبية وعمومية تغيرات الطاقة التى تحدث عندما تصطدم جزيئات النتروجين $N_2$ مع جزيئات الهيدروجين $H_2$ لانتاج جزيئات الأمونيا $NH_3$ ويعتمد استقرار البشرية على هذا التفاعل البسيط حيث يحتاج للأمونيا الناتجة من التفاعل لصنع العديد من المخصبات التى تدعم اساليب الزراعة المكثفة من أجل توفير الغذاء للمواطنين . وتكمن أهمية الأمونيا فى احتوائها على عنصر النتروجين ، الذى يعتبر العامل الأساسى لنمو النباتات .

ويمكن تلخيص التفاعل الذى ينتج الأمونيا ، من خلال كتابة معادلة كيميائية تبين ببساطة صيغة المواد الكيميائية المستخدمة ( أى تمثيلها الرمزى مثل N الخ . ) والنسب التى تتفاعل بها على الاجمال . والمعادلة التى تتكون منها الأمونيا من النتروجين والهيدروجين هى كالآتى :

$$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$$

والتى يمكن ترجمتهـــا بالآتى : كـــل جزىء نتروجـــين ( يحتـــوى على ذرتى نتروجين ) يتفاعل مع ثلاثة جزيئات من الهيدروجين ( يحتوي كل جزىء على ذرتى هيدروجين ) ، لانتاج جزيئين من الأمونيـــا ( يحتوى كل جزيء على ذرة نتروجين وثلاث ذرات هيدروجـــين ) . ووضـــع التفاعل فى صيغة معادلة يعتبر اكثر ايجازاً من ذكر نفس المعلومات بالكلمات ، حتى بالنسبة لهذا التفاعل البسيط . وهذا يعلل السبب فى

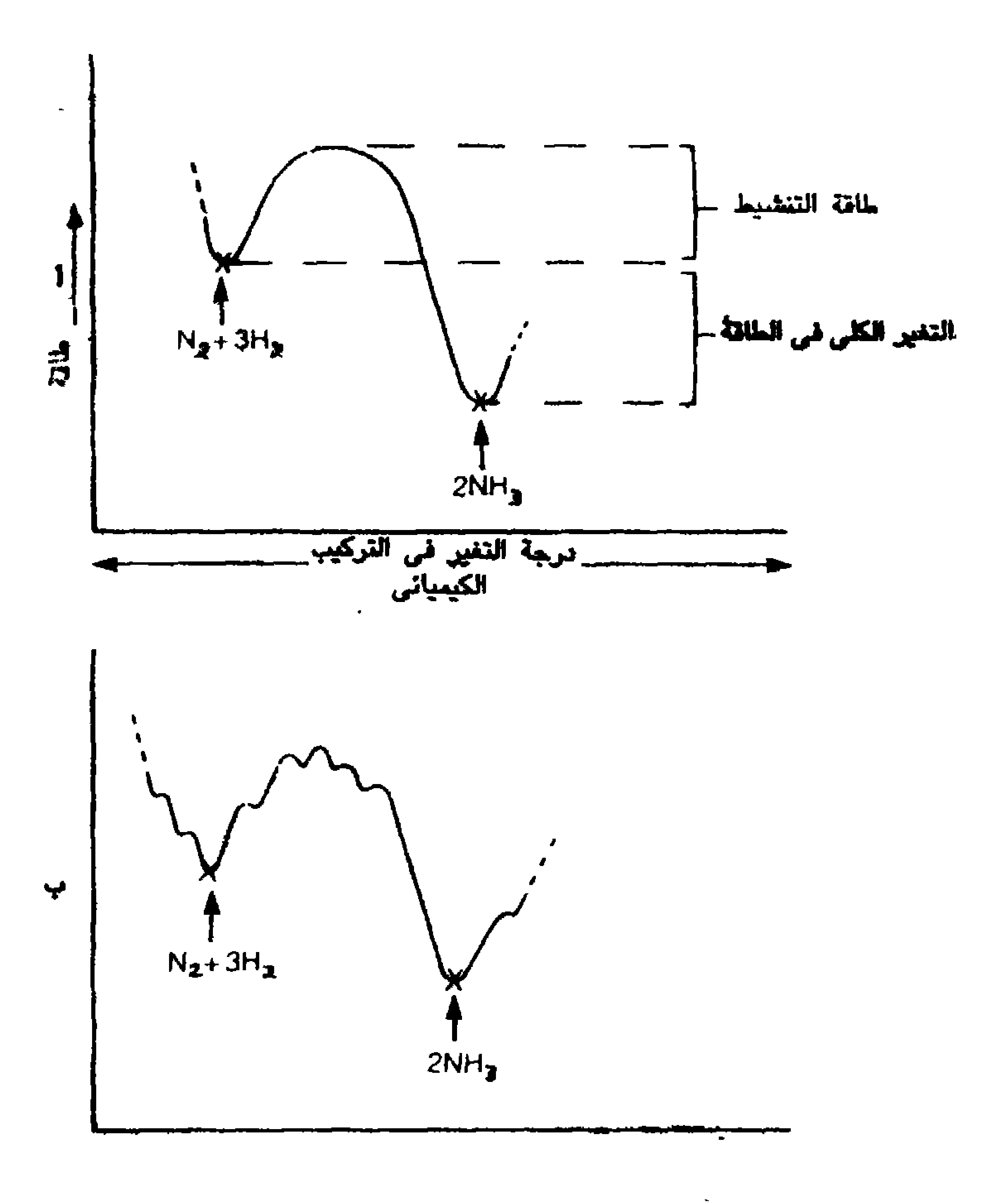
استخدام الكيميائيين المعادلات الكيميائية فى وصف التفاعلات . وفى التفاعلات الأكثر تعقدا ، تحتاج ترجمة معادلة من سطر واحد الى كلمات الى عدة أسطر . غير انه من المهم أن نتذكر أنه يمكن الاستعاضة عن كل المعلومات التى تعبر عنها معادلة كيميائية بكلمات عادية — فليس هناك شيء من السحر او الغموض أو صعوبة خاصة فى كتابة المعادلات الكيميائية بمجرد التعود على استخدامها ؛ فهى مجرد تمثيل مختصر للمعلومات التى يمكن صياغتها بالكلمات .

لاحظ أن هناك ذرتين من النتروجين فى الطرف الأيسر من المعادلة ، الذى توضع به المواد البادئة للتفاعل ، وهناك أيضاً ذرتان من النتروجين فى الطرف الأيمن من المعادلة ، وهو الطرف الذى توضع به نواتج التفاعل. وهناك أيضا عدد متساو من ذرات الهيدروجين ، ست ذرات ، فى طرفى المعادلة . ويعتبر هذا التساوى أو الاتزان ضروريا حتى تصبح المعادلة صحيحة ، لأن الذرات لا يمكن أن تخلق أو تفنى أو تتغير الى أنواع أخرى من الذرات أثناء اجراء التفاعل الكيميائى . وكما أشرنا ، فكل ما يحدث أثناء التفاعل ، هو أن الذرات الموجودة سيجرى ترتيبها فى صورة أخرى ، حينما يجرى تغيير الروابط بينها ، نتيجة لاعادة ترتيب الالكترونات الموجودة . وتعرف المعادلات ذات الأعداد المتساوية من كل نوع من الذرات فى كل طرف من طرفى المعادلة بالمعادلات المتزنة . وتوازن الطبيعة معادلاتها بصورة أوتوماتيكية ، ( بالرغم من أن تحول أحد أنواع الذرات الى نوع آخر يمكن أن يحدث ، ولكن السبب لا يكون من خلال تفاعل كيميائى ) . ويجد الناس أحيانا بعض الصعوبة فى كيفية التحقق من وزن المعادلات الكيميائية .

وبعد تلخيصنا لأساسيات المعادلات الكيميائية ، فقد حان الوقت لأن نفكر بصورة صحيحة فى المخطط الذى يكون الأمونيا . فهذا المخطط يأخذ صورة خطية بسيطة ، حيث يمثل المحور الرأسى مقياس الطاقة . وافترض أننا استطعنا أن نحسب بدقة مقدار الطاقة « الداخلية » ، أى مقدار الطاقة الوضعية والطاقة الحركية المختزنة فى جزىء من النتروجين ، وثلاثة جزيئات من الهيدروجين عند درجة الحرارة المختارة. سنقوم ، بغرض التبسيط ، بتسجيل هذه القيمة على المخطط معنونة $N_2 + 3H_2$ عند ارتفاع مناسب ، دون أن نجشم أنفسنا تحديد قيم حقيقية على المخطط ، حيث ما يهمنا هو القيم النسبية التى تساعد فى تتبع الشرح وتوضيح الفكرة . النقطة المعنونة المذكورة تمثل نقطة الطاقة الدنيا للجزيئات المنفردة ، أى قبل الدخول فى التفاعل ، والتى تستقر عندها هذه الجزيئات .

والمحور الأفقى لرسمنا يعنون بـ « درجة التغير فى التركيب الكيميائى » . وهذا يعنى أن الحركة على طول هذا المحور ، فى أى اتجاه تناظر حدوث بعض التغير فى تركيب النتروجين أو الهيدروجين أو كليهما . وهذه فكرة تقريبية وعمومية جدا ، لا تتطلب مرة أخرى أية أرقام على المحور ، اذا كان اهتمامنا منصبا بشكل عام على كيفية تغير مستوى طاقة المواد الكيميائية عندما تتغير ترتيبات الكتروناتها الطبيعية. واضح من المنحنى المرسوم ، أن أى ترحيل عن التركيب الطبيعى للمواد الكيميائية (١) ، الذى قد يكون على صورة تقارب أو تباعد النوى المترابطة ( أى شد أو ضغط فى روابطها ) ، يكون مصحوبا بارتفاع فى الطاقة . وعلى ذلك فان قلقلة الكترونات ونوى النتروجين والهيدروجين عن ترتيباتها الطبيعية المتزنة والثابتة يتطلب قدرا من الطاقة ، ويمكن أن تأتى هذه الطاقة من التصادمات التى تحدث بين الجزيئات ، وتتمثل على الرسم فى ارتفاع قيم الطاقة عن نقطة الاستقرار المبينة ، ولنسميها نقطة « الحضيض » الأولى . وفى التصادمات الهادئة نسبيا ، يكون الارتفاع عن نقطة الحضيض الأولى خفيفا ، وتتشتت الطاقة التى تكتسبها الجزيئات من تلك التصادمات أولا بأول ، معيدة الجزيئات لنقطة الاستقرار على الدوام .

غير أنه يلاحظ وجود نقطتى حضيض للطاقة فى الرسم ، تناظر الأولى نقطة استقرار الجزيئات المنفردة كما قدمنا ، أما الثانية ، فتمثل نقطة الاستقرار للمركب الكيميائى ، الأمونيا ، لو قدر للجزيئات المنفردة أن تدخل فى تفاعل يكونه . ومن ثم فقد عنونت النقطة الثانية $2NH_3$ اشارة الى أنها تخص جزىء غاز الأمونيا بعد تكونه . ويمكن حث جزيئات النتروجين والهيدروجين على الدخول فى التفاعل المؤدى لهذا الترتيب ، اذا كانت التصادمات من القوة بحيث تمدها بالقدر الكافى من الطاقة لدفعها لأعلى المشوار كله نحو قمة المنحنى الموجود بالرسم. وعندما تصل الطاقة الى قمة « التل » فى المنحنى ، تصبح فى حالة غير مستقرة ، بحيث ان أقل تغير فى التركيب سيجعلها تنحدر لأى من جانبى التل ، بمعنى أنها إما أن تتجه الى نقطة الاستقرار ( الحضيض ) الأولى ، فتعود الى حالتها الأصلية ، كجزيئات منفردة ، أو تتجه الى نقطة الاستقرار الثانية ، أى تتحول الى جزىء من غاز الأمونيا . وبمعنى آخر ، فاننا اذا بدأنا بخليط من النتروجين والهيدروجين النقى ، ورفعنا درجة الحرارة بقدر كاف ، لضمان توفر بعض التصادمات العنيفة لدفع هذه المواد الكيميائية الى الحالة الممثلة بقمة تل الطاقة ، حينئذ سيتحتم أن تأخذ بعض الأمونيا فى التكون . وسوف نرى تفاعلا كيميائيا يستمر ، يتفاعل فيه النتروجين والهيدروجين لتكوين الأمونيا .




شكل ( ١٢ ـ ١ ) مخططات توزيع الطاقة لتفاعل كيميائى

ويمكن تمثيل جميع التفاعلات الكيميائية بحركة المواد الكيميائية بين نقاط الاستقرار ( الحضيض ) الطاقة ، كل نقطة تمثل تركيبا كيميائيا مستقرا . وتعتبر التركيبات الموجودة عند قمم تلال الطاقة تركيبات وسيطة غير مستقرة ، قد لا تدوم الا لفترة قصيرة يصبح من الصعب معها دراستها ، وفى العديد من الحالات لا يعرف الكثير عنها . والطاقة المطلوبة لرفع طاقة المواد الكيميائية حتى حالة الطاقة الوسيطة الأعلى ( قمة التل ) لأى تفاعل ، تسمى « بطاقة التنشيط activation energy للتفاعل ، حيث انها الطاقة المطلوبة لتنشيط التفاعل لمواد كيميائية مستقرة أصلا ، لولا امدادها بهذه الطاقة .

والفرق بين قيمة طاقة الاستقرار للمواد البادئة للتفاعل ( الممثلة بنقطة الحضيض الأولى ) ، وطاقة الاستقرار للمواد الناتجة عن التفاعل ( الممثلة بنقطة الحضيض الثانية ) من القيم ذات الغاية فى الأهمية . ففى المثال المبين بالشكل ١٢ – ١ ١ ، يناظر تركيب نواتج التفاعل ( جزيئات الأمونيا ) تركيب طاقة أدنى بصورة واضحة عن تركيبات المواد البادئة ، وعلى ذلك ، فان فرق الطاقة سيبدأ فى الانتشار فى الوسط المحيط أثناء سريان هذا التفاعل .

ومن المهم ادراك أن الانبعاث الكلى للطاقة اثناء اى تفاعل كيميائى، على الرغم من أنه شائع الحدوث ، الا أنه لا يعتبر قاعدة عامة فى الكيمياء ، فقد يحدث أن تكون المواد الناتجة عن التفاعل أعلى من طاقة المواد البادئة (٢) . ويجب أن نعرض لهذه الحالات الآن ، لنرى مدى ملاءمتها لمتطلبات القانون الثانى للديناميكا الحرارية . ويمكننا القيام بذلك باستخدام التفاعل السابق نفسه ، لأن ، وهذه نقطة مهمة أخرى ، كل المواد الكيميائية ، من حيث المبدأ ، مواد يمكنها أن تعود الى حالتها الأصلية .

فمثلما يمكن أن يجرى الهيدروجين والنتروجين تفاعلا لتكوين الأمونيا ، يمكن أن تستخدم جزيئات الأمونيا كمواد بادئة لتفاعل عكسى، والتى يمكن من خلالها تكوين الهيدروجين والنتروجين . وكل ما هو مطلوب بالنسبة لهما ، هو امدادهما بطاقة كافية للرفع الى قمة التل الممثل للطاقة القصوى ، كما فى الشكل ١٢ – ١ أ للوصول الى حالة الانتقال غير المستقرة ، التى اما أن تنتج الأمونيا مرة اخرى ، واما أن تنتج جزيئات النتروجين والهيدروجين . وفى هذه الحالة ، تعتبر الطاقة

التنشيطية للتفاعل العكسى أكبر بدرجة ملحوظة من طاقة تنشيط التفاعل الأمامى ، ولكنه يمكن ، بل ويحدث ، أن تتفاعل الأمونيا لانتاج النتروجين والهيدروجين .

وعلى ذلك فاذا كانت جميع التفاعلات الكيميائية قابلة للعكس ، فما الذى يحدد اتجاه أى تفاعل كيميائى ؟ والاجابة هى ميل الطاقة نحو الانتشار الى توزيع متساو ؛ لكن ذلك يحتاج الى مزيد من التفسير . افترض أننا بدأنا بخليط من النتروجين والهيدروجين ، واخترنا الظروف والضغط الذى يمكن فى ظلها أن يبدأ التفاعل الأولى . فى البداية لا توجد أمونيا ، وعلى ذلك يستحيل التفاعل العكسى . وسيستمر تكوين الأمونيا لفترة قصيرة ، مع انطلاق الطاقة أثناء العملية التى تتشتت فيها فى خليط النتروجين والهيدروجين وغازات الأمونيا . وسوف نفترض أن الخليط موجود فى وعاء محكم العزل ، بحيث لا يحتمل للحـرارة أن تتبـدد . وبمجرد أن تتكون بعض من الأمونيا ، يصير التفاعل العكسى ممكنا ، اذا انتشرت طاقة كافية فى جزيئات الأمونيا ، بسبب تصادمها العنيف مع الجزيئات الأخرى . وفى البداية ، قد لا يستمر التفاعل العـكسى الا لفترة محدودة جداً ، لأنه لا يوجد الا القليل من جزيئات الأمونيا ، وقد لا تصطدم جزيئات الخليط بطاقة حركية كافية ؛ ومع ذلك يجرى طوال الوقت تكون المزيد من الأمونيا ، كما أن الطاقة المنطلقة من هذه العملية ترفع درجة حرارة الخليط . وكل من هذين العاملين ، الأعداد المتزايدة من جزيئات الأمونيا ، ودرجة الحرارة المتزايدة ، يزيدان من احتمالية التصادمات العنيفة التى تعطى القدر الكافى من الطاقة الى جـزيئات الأمونيا لجعلها تتفاعل مكونة النتروجين والهيدروجين . ذلك فى الوقت الذى يكون فيه التفاعل الأمامى ( تكوين الأمونيا ) مستمرا لم يتوقف ، ولكن معدله يتناقص مع الزمن ، الى أن يصل كلا التفاعلين فى النهاية الى حالة التعادل . وفى حالة الاتزان النهائية هذه ، سيستمـر كـلا التفاعلين ، ولكن بمعدل ثابت لكليهما . وسيحدث استقرار كيميائى تام ، لأن طاقة النظام قد أصبحت منتشرة بصورة متساوية على قدر الامكان . فالطاقة المبددة من غازى الهيدروجين والنيتروجين لتكوين غاز الأمونيا هى نفس الطاقة التى يمتصها غاز الأمونيا ليتحـلل مرة أخـرى الى مكوناته الأصلية .

جميع التفاعلات قابلة للعكس ، وسوف تصل جميعا الى نقطـة الاتزان ، اذا ما أخذت الوقت الكافى ، لكنه يوجد شيئان مهمان ، يجب أخذهما فى الاعتبار عند تفسير هذه الحالة . أولا ، قد يستغرق أى

تفاعل وقتا طويلا جدا حتى يستقر فى وضع الاتزان ، وسيظهر فى أثناء هذه الفترة الطويلة أنه مستمر فى اتجاه واحد فقط ؛ وثانيا ، فقد تكون كميات المواد الكيميائية فى كل طرف من أطراف معادلة التفاعل غير متساوية الى حد بعيد فى وضع الاتزان ، بمعنى أنه قد تكون نسبة كمية النواتج من التفاعل العكسى الى المواد المتكونة من التفاعل الأمامى واحد لعشرة آلاف . وعلى ذلك ، فقد لا نلاحظ من الوجهة العملية غير اتجاه واحد يعتبر هو التحول الفعلى من « المواد البادئة » الى « نواتج التفاعل » ، لكن يجب أن يكون مفهوما على الدوام أن كافة العمليات الكيميائية قابلة للانعكاس ، غير أن بعض الاتجاهات العكسية قد تكون ضئيلة الاحتمال بقدر كبير .

ولهذا السبب وضعت « المواد البادئة » و « نواتج التفاعل » بين علامات التنصيص . وذلك لأن المواد البادئة للتفاعل فى اتجاه ما ، هى نفسها نواتج التفاعل للتفاعل فى الاتجاه الآخر ، والعكس صحيح . فالمعادلة التى تؤدى لتكوين غاز الأمونيا :

$$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH$$

يمكن أن تكتب بطريقة صحيحة تماما لتعبر عن تحلله كالآتى :

$$2NH_3 \rightarrow N_2 + 3H_2$$

ويمكن أن تكتب أى من المعادلتين بصورة افضل كالآتى :

$$N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3$$

أو

$$2NH_3 \rightleftarrows N_2 + 3H_2$$

ويعنى السهم المزدوج أن التفاعل ممكن فى أى من الاتجاهين . ويعتمد الاتجاه السائد على الظروف الدقيقة ، كدرجة الحرارة والضغط الذى يحدث خلالهما التفاعل ، ويمكن ضبط هذه الظروف ، لجعل أى من التفاعلين هو السائد ، يعنى أنه يمكن ترتيب حالة الاتزان لتحتوى على زيادة ، اما من النتروجين والهيدروجين واما من الأمونيا ، تبعا للظروف المختارة .

وعلى ذلك ، توجد نقطتان مهمتان أخريان يجب إضافتهما الى نظرتنا المتطورة عن الكيمياء : الأولى : التفاعلات الماصة للطاقة أى التى تبدأ بطاقة ، لانتاج نواتج ذات طاقة أعلى من المواد البادئة ، يمكن

ان تتحقق طالما كان ميل الطاقة للتشتت فى اتجاه امتصاص المواد البادئة لها ، بدلا من طردها ؛ والثانية : يمكن عكس جميع التفاعلات ، الا أنه قد يكون هناك احتمالية لاتجاه أكثر من الآخر .

وعلى ذلك ، يمكننا ان نجمع أساسيات الكيمياء مع بعضها البعض فى قائمة واحدة ملخصة :

● تحدث التفاعلات الكيميائية عندما تتصادم الذرات المتحركة و / أو الجزيئات و / أو الأيونات مع بعضها البعض ، لتعطى ترتيبا جديدا للالكترونات فى هذه الجسيمات .

● يمكن أن يتضمن الترتيب الجديد للالكترون انحلال بعض الروابط الكيميائية الموجودة ، وتكوين روابط كيميائية جديدة .

● تتطلب الطاقة من أجل بدء ترتيب جديد للالكترون ، وتخرج الطاقة فى وقت لاحق ، عندما تستقر المواد الكيميائية فى ترتيباتها المعادة الجديدة على أن فرق الطاقة الكلى اما أن يخرج من التفاعل أو يمتص فيه ، ويعتمد ذلك على المواد الكيميائية المستخدمة .

● كل التفاعلات قابلة للعكس ، على الرغم من أنه فى عديد من الحالات ، يكون التفاعل فى أتجاه واحد هو الأكثر احتمالا من الاتجاه الآخر .

● مع أستمرار التفاعل ، فانها تفضل بصورة أوتوماتيكية الاتجاه الذى يؤدى الى تشتت متزايد لطاقة الكون نحو توزيع أكثر تساويا .

● التفاعلات الكيميائية ، هى كل ما يحدث للمواد الكيميائية عندما تجبر ، بواسطة الانتشار الأوتوماتيكى للطاقة نحو توزيع أكثر تساويا ، لضبط مستويات طاقتها الى مستويات تتوافق مع طاقة البيئة المحيطة بها .

ويمكن وصف هذه القائمة بأنها جوهر الكيمياء الحقيقى ، ولكن بطبيعة الحال ، عند استخلاص الجوهر ، نضطر لاستبعاد الكثير من التعقيدات والخفايا . ودعنى أقوم ببعض التنقيحات لبعض فواقد الاستخلاص ، قبل أن ننتقل الى اختبار العمليات الكيميائية للحياة فى الفصل الثالث عشر .

إن مخطط توزيع للطاقة مثل شكل ١٢ — ١ أ ، يعطى وجهة نظر غاية فى التبسيط لوصف سريان التفاعلات الكيميائية . فهو يوحى لنا بأن التفاعل الذى تتكون منه الأمونيا يبدأ بواسطة تصادم لحظى لأحد جزيئات النتروجين وثلاثة جزيئات من الهيدروجين ، لانتاج مركب وسيط واحد عالى الطاقة ، يحتوى على ذرتى نتروجين وست ذرات هيدروجين ، ينتهى بعد ذلك الى جزيئين من الأمونيا . ومن المؤكد أن الحالة ليست كذلك . ففى المقام الأول ، فالتصادم الآتى للجزيئات الأربعة بعيد الاحتمال الى حد بعيد ، والأكثر احتمالا هو أن تكون الخطوة الحاسمة لبدء التفاعل هى تصادم بين جزىء نتروجين واحد وجزىء هيدروجين واحد ، وهو ما يولد المركب الوسيط الأولى ، والذى سوف يتفاعل بعد ذلك مرة أخرى ، من خلال عدد كبير من الخطوات المختلفة. والتفاعلات الكيميائية التى يمكن تلخيصها على الاجمال من خلال معادلات دقيقة ، عادة ما تجرى بطريقة معقدة تدريجية ، تشمل العديد من المركبات الوسيطة غير المستقرة والعالية الطاقة . ويمكن توضيح ذلك بطريقة تقريبية بواسطة مخطط مثل شكل ١٢ — ١ ب ، الذى يبين العديد من المستويات الدنيا من الطاقة تتغير صعودا وهبوطا بينما المنحنى يسير فى شكله العام ، وتمثل كل حالة دنيا من الطاقة مركبا وسيطا ذا فترة حياة وجيزة .

كما يوحى شكل ١٢ — ١ أ أيضا ، أن هناك طريقتين فقط يمكن من خلالهما تغيير تركيب أية مادة كيميائية ، مناظرتين للحركة يسارا أو يمينا على المحور الأفقى . أما الحالة الواقعية للتفاعل فتتطلب رسما مجسما ذا أبعاد ثلاثة ، يمثل التغير فيه كحركة على المستوى ( وليس الخط ) الأفقى بين قمم تلال وقيعان ، ويمثل قاع كل منخفض فيه حالة مستقرة لمركب ما . أما القمم فتمثل الحالة غير المستقرة للمركبات الوسيطة سريعة الزوال . ويبدو من الواضح فى هذا المنظر الطبيعى الثلاثى الأبعاد ، أن الطرق المختلفة التى يمكن من خلالها أن يتغير تركيب مادة كيميائية أكثر تعقيدا مما تم عرضه فى الرسم المبسط . وحتى هذا المنظر الطبيعى ، هو مجرد تمثيل أو نموذج للموقف الحقيقى ، لكنه يمكن أن يعطينا انطباعا جيدا عن تغيرات الطاقة المستخدمة فى التفاعلات الكيميائية ، والقيود الواقعة على هذا التغير .

ويشمل التعقيد الأخير الذى سنأخذه فى الاعتبار ، الظاهرة المعروفة بالتحفيز Catalysis لتفاعلات المواد الكيميائية . فالعديد من التفاعلات ، ومنها التفاعل المنتج للأمونيا الذى اخترناه مثلا ، يجرى بطريقة أكثر بطئا، عندما تترك المواد المتفاعلة على حريتها . ويمكن تعجيل جميع التفاعلات

تقريبا ، عن طريق اضافة بعض المواد الكيميائية الأخرى ، التى تعمل كمواد حفازة Catalyst للتفاعل . فالمادة الحفازة ، هى مادة تعجل التفاعل ، بينما لا يطرأ عليها اى تغيير على الاطلاق . وتحدث المواد الحافزة تأثيراتها عن طريق فتح طرق جديدة ، او آليات تتبعها التفاعلات، تشمل على قدر أقل للطاقة التنشيطية . ولما كانت أية مادة حافزة تخفض من طاقة التنشيط للتفاعل ، فان هذا يعنى أن نسبا أكبر من المواد المتفاعلة سوف يكون بها طاقة حركية كافية من أجل التفاعل عندما تتصادم ، ومن ثم سيستمر التفاعل بطريقة أسرع مما لو تم بدون المادة الحافزة .

وتعتبر المواد الحافزة مهمة لجعل معظم التفاعلات التى تستغلها الصناعة الكيميائية تعمل بطريقة فعالة واقتصادية . فالمادة الحافزة من برادة الحديد ، المختلطة بكميات صغيرة من مواد كيميائية أخرى ، تجعل تصنيع الأمونيا يتم بصورة اقتصادية لصناعة المخصبات . كما تستخدم حافزات من فلز الراديوم والبلاتين فى بعض السيارات من أجل تنقية العادم ، بتحويل المنتجات الضارة بصحة الانسان من الوقود غير المحترق ، مثل أول اكسيد الكربون واكاسيد النتروجين ، الى مواد كيميائية اقل ايذاء للصحة مثل ثانى أكسيد الكربون والماء والنتروجين . اما المحفزات الطبيعية ، والتى تحفز التفاعلات الكيميائية داخل أجسامنا، والتى تجعلنا على قيد الحياة ، فتسمى بالانزيمات ، لكن هذا هو موضوع الفصل القادم .

وعالم الكيمياء ملىء بالعديد من التفاصيل الأخرى والتعقيدات التى تشغل مجلدات ضخمة فى أرفف المكتبات ؛ الا أن جوهر كل هذا التعقيد فى غاية البساطة ، كما اوضحنا فى القائمة التلخيصية فى هذا الفصل . وتذكر أن كل الدفع والجذب والترتيبات المعادة للالكترونات والنوى ، التى تحدث عند اجراء العمليات الكيميائية ، هى نتيجة القوة الكهرومغنطيسية التى تعمل على اجبار الجسيمات ذات الشحنة المتشابهة بالابتعاد عن بعضها البعض ، وتعمل على جذب الجسيمات مختلفة الشحنة لبعضها البعض ؛ وتذكر أيضا أن التغيرات الكيميائية تعطى اتجاها على الاجمال ، بسبب ميل طاقة المواد الكيميائية نحو التشتت الى توزيع أكثر استواء .

وعلى ذلك فالكيمياء هى رقصة عنيفة للجسيمات ، فيها ينجذب بعض الراقصين نحو بعضهم البعض ، فى حين يجبر آخرون على الابتعاد ، بينما طاقة الرقص تدور كالدوامة متحدية هذه القوى التنظيمية ، كلما اشتدت نشوة الرقص بالراقصين !

الفصل الثالث عشر

# الحيـــاة

# LIFE

تعد الحياة ظاهرة من ظواهر أمنا الطبيعة التي لدينا رغبة حميمة لفهم طبيعتها ؛ ومع ذلك فلا يوجد من يفهمها فهما كاملا ، لأن أكبر سمة للحياة هو العقل الواعي الموجود بداخل كل جمجمة بشرية ؛ ولم يعرف أحد كيف خلق هذا العقل واستدام ، أو حتى ما كنهه . غير أنه يعرف قدر كبير عن الآليات الداخلية للكائنات الحية ، تلك الآليات التي تساعد على استمرار الخلايا التي تكون الأعضاء مثل قلبك ورئتيك ، والمخ الذي يخلق بطريقة ما أو على الأقل يحافظ على أفكارك الواعية . والسمة الأساسية للآليات الداخلية للحياة ذات طبيعة كيميائية . فالكائنات الحية تبدو كآلات كيميائية معقدة بصورة مدهشة . ويجب أن أتوخى الحرص هنا ؛ فقد يكون هناك ما هو أكثر من « مجرد كيمياء » بالنسبة لنا ، خصوصا وأن منشأ وعينا وأفكارنا لا يزال غامضا ؛ في حين أن كل ما اكتشف بداخلنا حتى الآن ليس غير آلية كيميائية . وفي هـذا الفصل ، سوف نلقي نظرة على العناصر الرئيسية لهذه الآلية ، لنكتشف كيف تجعلنا وتجعل كل الكائنات الحية الأخرى تعيش .

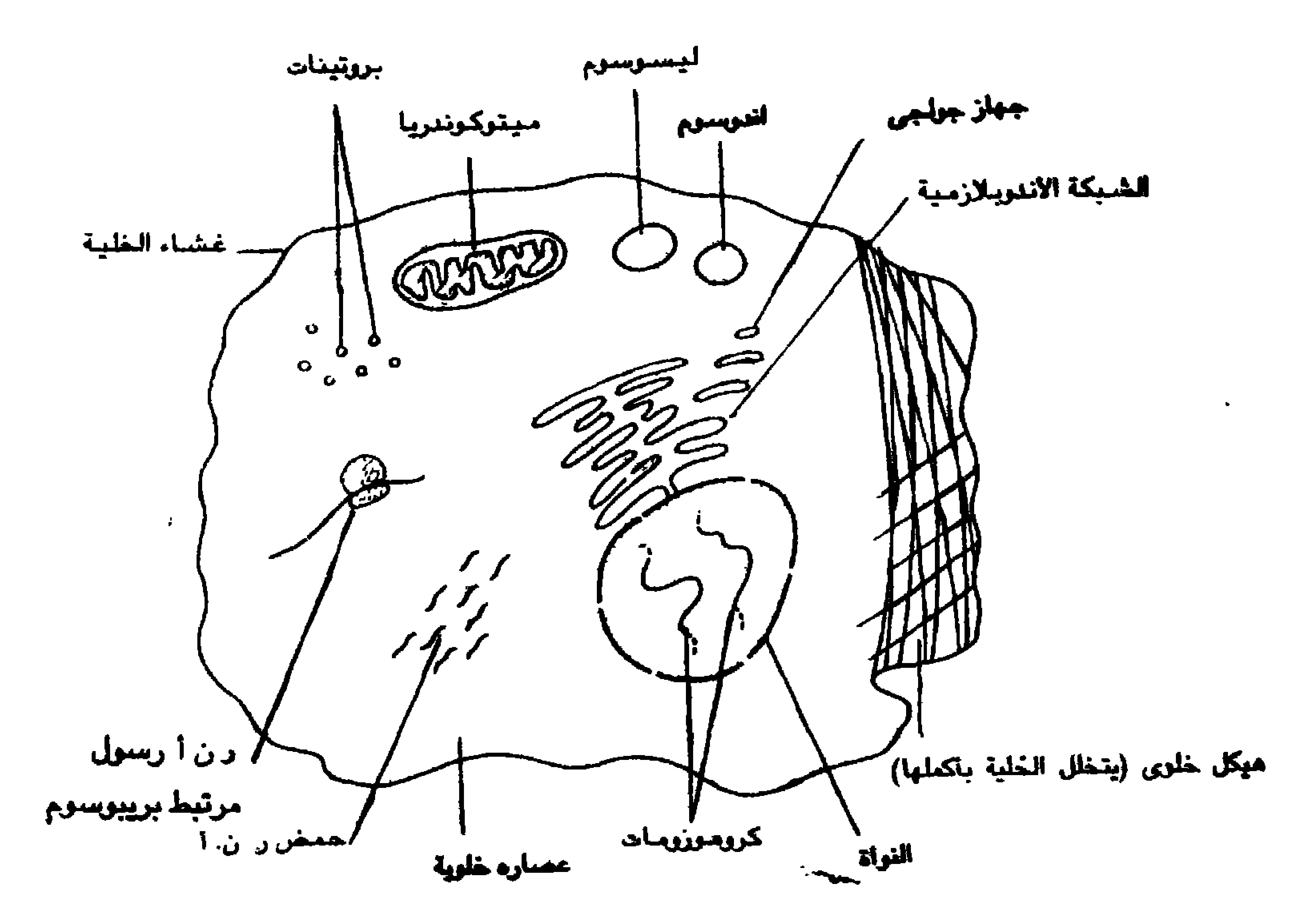
وعندما تنظر الى كائن حي معقد مثل انسان أو حيوان أو نبات ، فسرعان ما يتكشف أنه يتكون من العديد من الوحدات الحية الأصغر ، التي تسمى « خلايا Cells » . فالخلية الحية هي الوحدة الأساسية للحياة . وأبسط الأشياء الحية هي الخلايا المفردة ، في حين أن أعقد الأشياء الحية هي تجمعات من أعداد هائلة من الخلايا . لذا فالاختلافات بين الكائنات الحية المختلفة ، يعود الى اختلافات في أنـواع وأعـداد الخلايا التي تحتوي عليها . وتعتبر الأميبا نوعا معروفا من الكائنـات

التى تتكون من خلية واحدة تعيش معيشة حرة ، والتى لا تقوم بشىء آخر سوى الحركة من مكان لآخر ، تتناول الغذاء وتستخدمه فى النمو ، وبعد ذلك تتضاعف بالانقسام ، ويعتبر الانسان تجمعا ضخما من الخلايا ، يبلغ مقدارها حوالى عشرة تريليون خلية ، وتوجد من هذه الخلايا انواع عديدة مختلفة ، يتخصص كل منها فى القيام بوظائف مختلفة ؛ ويتيح تفاعل هذه الخلايا للانسان بأن يفكر ويتحدث ويعى وجوده .

وعلى الرغم من أن الخلايا يمكنها أن تختلف اختلافا كبيرا من حيث شكلها العام وما تقوم به من وظائف ، الا أنها تشترك جميعها فى جوهر مشترك من السمات الأساسية التى تجعلها تعمل بصورة متناغمة . ويوضح شكل ١٣ — ١ هذه السمات (١) ، من خلال استخدام خلية من الكائنات العضوية الراقية ، مثل خلايانا ، على سبيل المثال . وابسط هذه الخلايا جميعا هى خلايا ما يسمى « بالكائنات العضوية الدنيا » ، مثل البكتيريا ، ولكن بالرغم من أن لها تركيبا مختلفا قليلا ( اذ تفتقد الى وجود نواة ، على سبيل المثال ) ، تعتبر الكيمياء الأساسية التى تجعلها تعمل ، كيمياء مشابهة تماما . ومن الجدير بالذكر أن كل الأشياء الموضحة بالشكل ١٣ — ١ ، والتى نتولى شرحها هى مواد كيميائية ( أو تجمعات من المواد الكيميائية المختلفة ) ، تتكون من ذرات و / أو جزيئات و / أو أيونات . وعلى ذلك تحدث التغيرات والتفاعلات التى سنأخذها ، لأنها فى الأساس تفاعلات كيميائية يدفعها ميل الطاقة للتشتت خلال الكون .

وتحاط جميع الخلايا بغشاء Membrane خلوى رقيق ، يتكون من مواد كيميائية ، يعزل محتويات الخلية عن العالم الخارجى ، مع السماح بمرور اختيارى لبعض المواد الكيميائية الى داخل وخارج الخلية ، أما داخل الخلية نفسها فعبارة عن « وسط مائى » يعرف بالعصارة الخلوية ، أو السيتوبلازم Cytosol . وتوجد كيمياء الحياة داخل الوسط المائى ، لأنه قد يحتمل أن تكون الحياة الأولى نشأت وتطورت فى ذلك الحين داخل البيئات المائية عن سطح الأرض

ويوجد بداخل خلايا الكائنات الراقية أغشية أخرى ، تفصل بعض مناطق الخلية الى « خلايا داخل خلايا » ، والتى تعرف بـ « العضيات Organelles » (٢) . وتعتبر نواة الخلية اهم هذه الجسيمات المحاطة بالأغشية والموجودة فى كل كائن حى . ونجد فى النواة الموجودة فى قلب




شكل ( ١٣ : ١ )

منظر تخطيطي مكبر للسمات المهمة فى خلية حيوانية

الخلية الحية الكنز الدفين فى قلب كل الحياة – تلك المادة الكيميائيـة المعروفة بالــ د.ن.أ ( الحمض الريبى النووى المنقوص الأكسجين ) D.N.A. الذى يحتوى تركيبه الداخلى على تلك الأشياء التى نسميها « جينات Genes » . وكما يعرف كثير من الناس ، تعتبر الجينـات العوامل الكيميائية للوراثة . فهى التى تجعل الخلايا المختلفة مختلفة ، ومن ثم تجعل الأشخاص المختلفين مختلفين ، وهى التى تجعل نسـل الكائن الحي يشابه أباه . فالجينات تجعل الفئران الوليدة تشبه أبويها وتجعل البشر يشبهون آباءهم . وتعتبر الجينات مناطق متميزة بالفعل ، تتكون من جزيئات رفيعة وطويلة بصورة عجيبة من د.ن.أ. وتحتوى بعض الكائنات الحية ، مثل البكتيريا ، على جزىء واحـد رئيسى من الــ د. ن. أ ، بينما تحتوى خلايانا على ستة وأربعين جزيئا ضخما

من الـــ د.ن.آ. وتمتزج كل من هذه الجزيئات مع بعضهـــا البعض بأنواع عديدة من الجزيئات البروتينية ( والتى سنشرحها فيما بعـــد ) لتكون التركيبات المعروفة بالكروموسومات Chromosoms . ويحتوى د.ن.أ فى كل من كروموسوماتنا على عدة آلاف من الجينات ، ويوجد بداخل الجسم البشرى مائة ألف جين على الاجمال .

وأهمية الجينات بالمعنى الوصفى والاجمالى هى كالآتى : يسمح لها تركيبها الكيميائى الدقيق بطريقة غير مباشرة بأن تتحكم فى التفـــاعلات الكيميائية التى تنشىء كائنا حيا من مواد أولية غير حية ؛ ويسمح لها تركيبها أيضا بأن تنسخ ، لتولد نسخا جديدة مطلوبة لكى تنشأ منهـــا أجيال جديدة من الحياة . ويعبر عن ذلك أحيانا بالقول بأن الجينات تحمل « المعلومات الجينية » المطلوبة لخلق الحياة . ويمكن اعتبار أن هذه « المعلومات » عبارة عن « تعليمات » مطلوبة لتوليد أعداد معينة من فئة اخرى من مواد كيميائية تعرف بالبروتينات ، وتكمن الأهميـــة الحقيقية للجينات فى أنها تسمح بتصنيع جزيئات بروتينية معينة داخل أية خلية . غير أن هذه المصطلحات ، مثل « المعلومات الوراثيـــة » و « التعليمات » ، يجب الا تؤخذ بمعناها الحرفى ، فكل ما يحدث فى الواقع هو أن العديد من المواد الكيميائية تتفاعل بطرق معينة ، وتعطى فى النهاية الظاهرة الكيميائية التى نسميها الحياة .

وبالتغاضى عن بعض الاستثناءات والتعقيدات حاليا ، يمكننى القول ان الجين الواحد وهو قطاع من جزىء د.ن.أ ، يستطيع أن يولـــد جزيئا بروتينيا معينا . وتعرف المجموعة الكاملة من الجينات المتجسدة داخل خلية د.ن.أ بـ « جينوم الخلية Cell's genome » (٣) ، ويعتقد أنه يوجد بداخل كل خلية من خلايانا البشرية ، ما مجمـــوعه ١٠٠٫٠٠٠ جين ، وبمعنى آخر ، فان الجينوم للانسان ، يناظـــر جينوم احـــدى خلايـــاه .

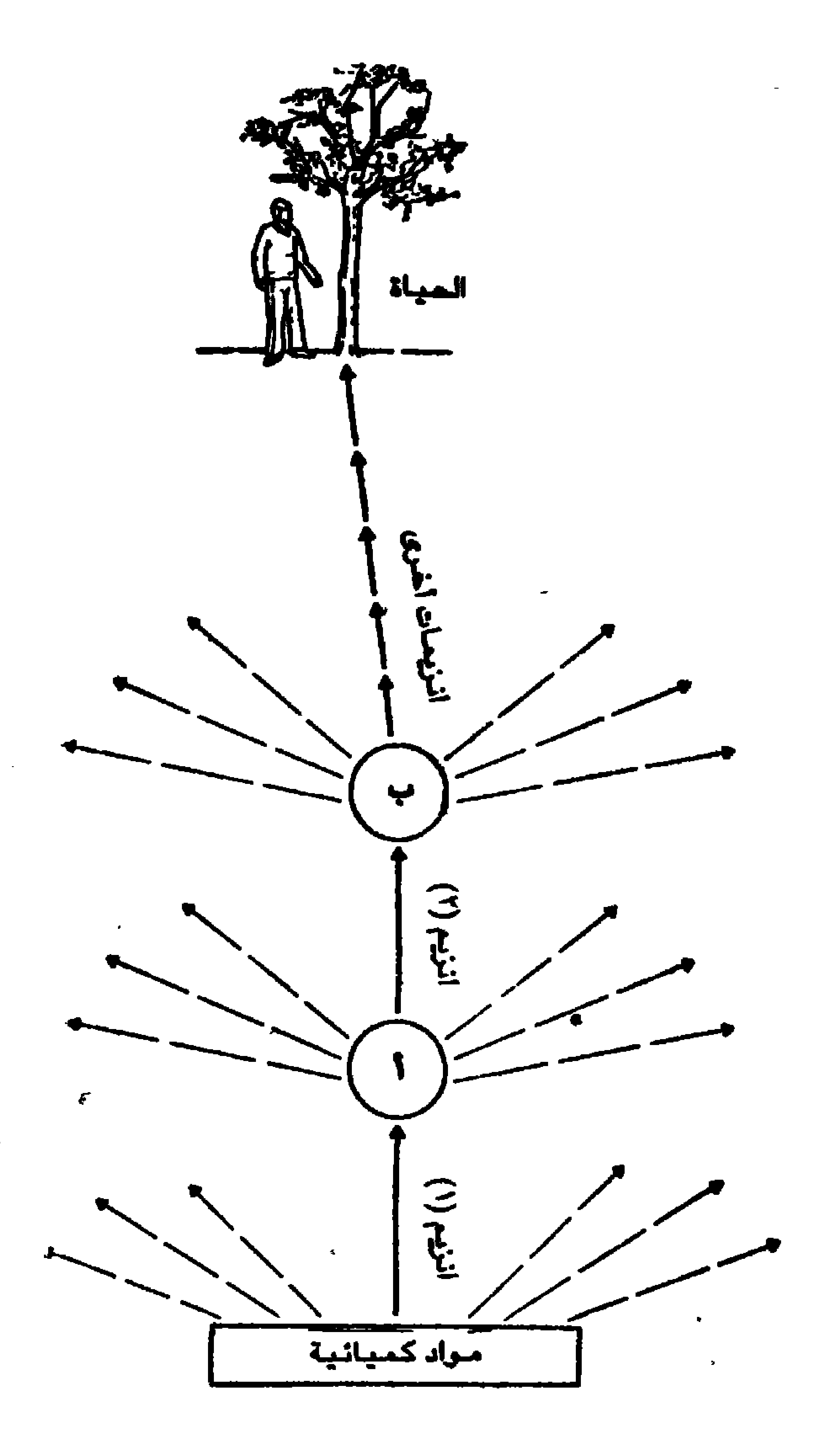
فاذا كانت أهمية الجينات هى أنها الباعثة على تكوين البروتينات، فيجب أن يكون السؤال المهم التالى ، ما هو دور البروتينات ؟ تقوم البروتينات بسلسلة كبيرة جدا من المهام الأساسية داخل الكائنات الحية ، لكنـــه توجد بساطة مدهشة فى أعماق التنوع والتعقيد الظاهر فى تأثيراتها . فالبروتينات بسبب تركيباتها الكيميائية لها القدرة على الارتباط بطريقة انتخابية Selective binding بمواد كيميائية معينة ، وبعد ذلك ، اما أن تعمل كمحفز ، أو تكون هى نفسها ، عرضة لما يسمى التغيير التشكلى

conformational change يحدث بعد ذلك بعض التأثيرات الكيميائية الأخرى . فالارتباط الانتخابى والتحفيز والتغير التشكلى ، هى المهام الثلاث العظيمة التى تقوم بها البروتينات ، وسوف نوليها مزيداً من البحث ، لتوضيح سبب اهمية هذه التأثيرات .

والدور المؤثر والأكثر أهمية الذى تلعبه البروتينات ، هو أنها تعمل كالجزيئات التى تكون وتحافظ بالفعل على كل الخـــلايا . وتعـــرف البروتينات التى تقوم بوظيفة تكوين الخلايا والحفاظ عليها « بالانزيمات Enzymes » وهى تقوم بمهمتها التى يبدو عليها البراعة بطريقـــة بسيطة جداً . فكل انزيم عبارة عن حافز كيميائى متخصص جداً ( وتذكر أن التعريف الصحيح للمحفز ، هو المادة التى تقوم بتعجيل تفاعـــل كيميائى معين ، بينما يظل هو نفسه دون أن يطرأ عليه تغيير اثنـــاء التفاعل ) . وقد ذكرت أن الكائنات الحية هى ماكينات كيميائية ، وهو ما يعنى ضمنا ان جميع أنشطة اى كائن حى ، هى النتيجة النهائيـــة لاجراء العديد من التفاعلات الكيميائية . ويوجد فى الواقع عدد لا يحصى من التفاعلات الكيميائية المحتملة الحدوث من حيث المبدأ ، بين العديد من المواد الكيميائية الموجودة داخل الخلايا ، معظمها لا يساعد فى خلق الحياة ، بل ومنها ما يمكن أن يدمرها . وعلى ذلك فلكى تنشأ حياة من كل الامكانيات الكيميائية المتنوعة ، يجب أن يوجد شىء ما يوجه سير التفاعلات المناهضة لها . وتلك هى المهمة التى تقوم بها الانزيمات ، كما يلخصها الشكل ١٣ — ٢ . فالانزيمات تحفز التفاعلات الكيميائية للحياة وكل انزيم يحفز واحداً أو عدداً قليلا على الأكثر من التفاعلات الكيميائية المحددة ؛ ويضمن عملها كحافزات ، بحيث لا تحـــدث الا التفاعـــلات الصحيحة ، فى المكان الصحيح ، وفى الوقت المناسب ، وبالسرعـــات المطلوبة ، وبالترتيب الصحيح .

فكل واحد من آلاف التفاعلات التى تتحد لتصنع أميبا أو فأراً أو انساناً ، يقوم بالتحفيز عليها انزيم معين . وبدون مساعـــدة هـــذه الانزيمات ، فلن تجرى العديد من هذه التفاعلات بأى قدر محسوس . فالانزمات تجعـــل كيمياء الحياة المتكاملة البالغة التعقد ممكنة . فهى تخلق الترتيب والتركيب والاتزان من الحساء الكيميائى المشوش داخل خلايانا .

وعلى ذلك فمن خلال توفر المعلومات المطلوبة لصنع الانزيمـــات والبروتينات الأخرى ، تستطيع الجينات فى النهاية ان تحـــدد تركيب




شكل ( ١٣ : ٢ )

من خلال تحفيز بعض التفاعلات الكيميائية بصورة انتخابية ( الموضحة بالرسم بالأسهم السوداء ) ، فى الوقت الذى لا تقدم اية مساعدة على الاطلاق للعديد من التفاعلات الممكنة الأخرى ( التى تظهر بخطوط متقطعة فى الرسـم ) ، توجـد الانزيمـات الطاقة الكيميائية للبيئة على طول المسارات الكيميائية المؤدية للحياة .

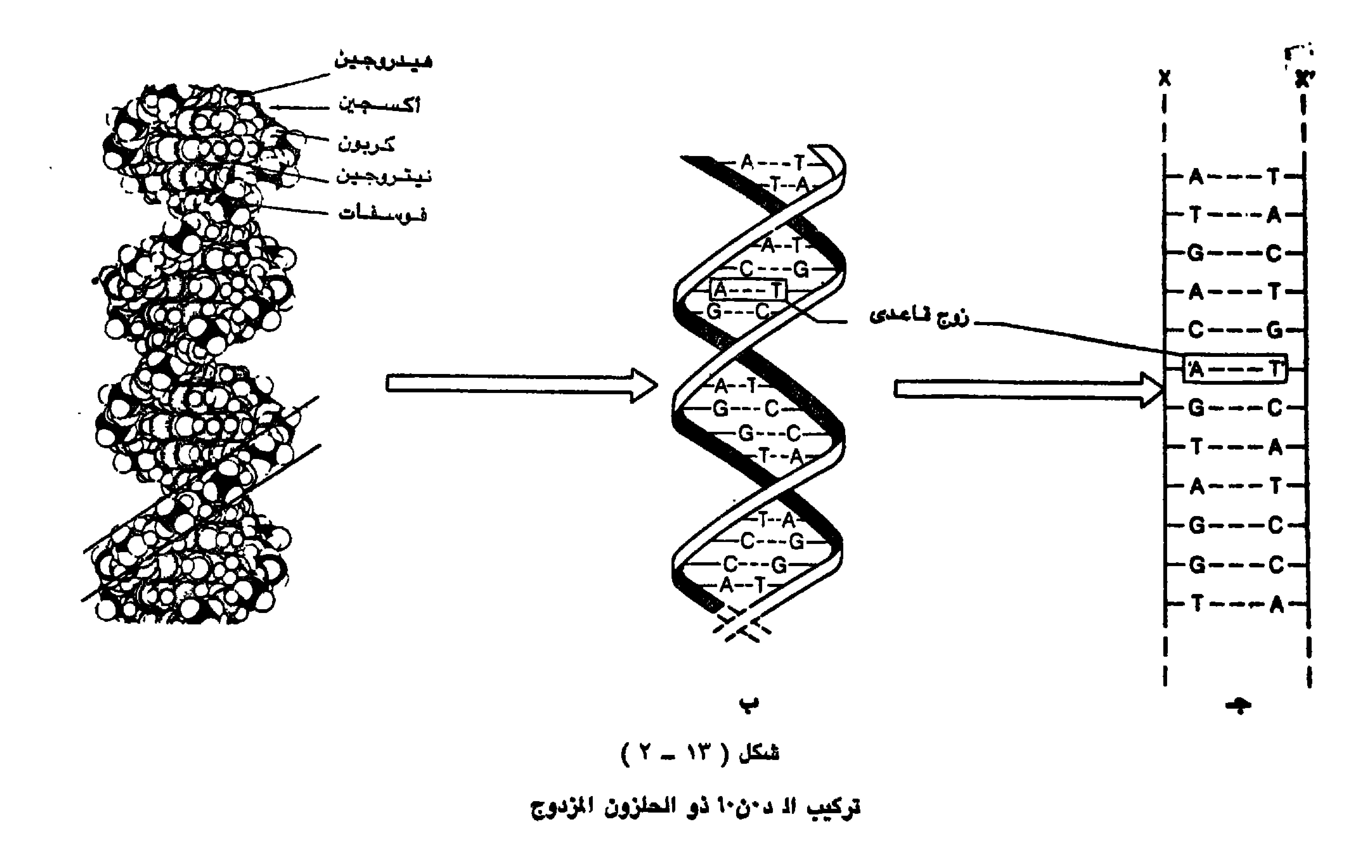
وانشطة جميع الخلايا والكائنات الحية ؛ أى تنحصر أهمية الجينات فى انها تحدد أى البروتينات التى يحتوى عليها كائن حى .

والرسالة الاجمالية لهذا الجزء الأول من الفصل ، هى أن الحياة قائمة على خلايا محتوية على الجينات ، التى توجه تصنيع البروتينات ، التى بدورها تعمل مجتمعة على انشاء كيمياء الحياة من المواد الأولية المتاحة . وقبل التعرف على المزيد عن الأنشطة المهمة للجينات والبروتينات ، يجب أن نأخذ فى الاعتبار بشكل موجز أحد الطوائف الأخرى من المواد الكيميائية ، الا وهو حمض الـ ر.ن.أ RNA فالـ ر.ن.أ ( الحمض النووى الريبى ) له تركيب مشابه تماما للـ د.ن.أ ، ويعمل «كنسخة تشغيل » لـ د.ن.أ الخاص بجين معين ، تلك النسخة التى تنتقل من نواة الخلية وتدخل الى العصارة الخلوية ، حيث تجرى فى واقع الحال عملية تجميع البروتين . ويعتبر الـ د.ن.أ ، هو النسخة الأصل للمعلومات الوراثية لأية خلية ، التى تظل موجودة فى مكان آمن داخل الخلية . وتصنع نسخ الـ ر.ن.أ من الـ د.ن.أ لكل جين داخل النواة ، وتنقل من داخل الخلية الى العصارة الخلوية عند الطلب ؛ وهذه النسخ من ر. ن. أ للجين ، هى التى توجه بالفعل عملية تصنيع البروتينات . وكما توحى أسماؤها ، فان الـ ر.ن.أ والـ د.ن.أ ، ينتميان الى فئة من المواد الكيميائية ، تعرف بـ « الأحماض النووية Nucleic acids » . والأحماض النووية هى المواد الكيميائية التى يحدد تركيبها كيمياء الحياة .

## الجينات والحلزون المزدوج

فى مركز كيمياء الحياة تماما ، يقع الـ د.ن.أ الذى يخزن المعلومات الوراثية المطلوبة التى تصنع وتتحكم فى اية خلية . ولكى يعمل الـ د.ن.أ كحامل لمعلومات وراثية ، يجب أن يكون قادرا على القيام بشيئين . أولا ، يجب أن يحتوى بشكل واضح على معلومات ؛ وثانيا ، يجب أن تكون هناك طريقة ما لنسخ هذه المعلومات ، بحيث انه عندما تتضاعف الخلايا من خلال انقسامها الى اثنتين ، تكون هناك نسخة متوفرة لكل خلية من الخليتين الجديدتين . واذا نظرنا الى تركيب الـ د.ن.أ ، ونظرنا بعد ذلك الى الطرق التى تبسط وتعمم سمات مادة كيميائية معقدة ، فسوف نكتشف فى الحال مدى توفر هذين المعيارين .

ويوضح لنا شكل ١٣ ـ ٣ ١ بصورة تقريبية بقدر الامكان ، شكل الـ د.ن.أ فهو يوضح قطاعا مختصرا من د.ن.أ بمناطق ذات




شكل ( ١٣ ـ ٢ )

تركيب الـ د.ن.أ ذو الحلزون المزدوج

احجام وظلال مختلفة ، تمثل الذرات المختلفة الموجودة فى مادة كيميائية. ويبلغ طول جزيئات الـ د.ن.أ الحقيقية مئات الآلاف من المرات قدر طول هذا القطاع المختصر ، ولكن لكى نفهم المادة الكيميائية ككـل ، فلا نحتاج الا أن ناخذ فى الاعتبار قطعة صغيرة منها • فجين واحد مرسوم بنفس المقياس الموجود بشكل ١٣ — ٣ أ ، سيكون طولـه الحقيقى لا يقل عن ستة أمتار ( بينما يبلغ طول العديد من الجينات اكبر من هذا الطول ) . ويتكون الـ د.ن.أ من خمسة أنواع مختلفـة فقط مـن الذرات : الهيدروجين والكربون والنتروجين والأكسجين والفسفور . وعلى الرغم من هذا العدد القليل ، الا أن تركيب الـ د.ن.أ معقد جداً ، عندما توضح جميع ذراته ، ولحسن الحظ ، يمكن أن تبسط بسهولة ، وتعتبر احدى السمات المبسطة مرئية ، وإن كانت بصورة ليست واضحة، فى شكل ١٣ — ٣ أ . فيمكن ملاحظة شريطين حلزونيين من الذرات ، من لولبين حول مركز داخلى رئيسى ( ويوضح واحد منهما بالخـطين المستقيمين المرسومين يحددان كلا جانبيه بالشكل ) . ويعرف هـذان الخطان بالهيكل الحـلزونى للـ د·ن·أ ، حيث ان الغـرض الوحـيد الحقيقى منهما أن يعملا كاطار يحمل ذرات المركز الداخلى ، ويشكلان سويا أصل التركيب الحلزونى الشهير للـ د.ن.أ .

ويمكن رؤية الطبيعة الحلزونية المزدوجة للـ د.ن.أ بشكل واضح تماما فى شكل ١٣ — ٣ ب . ويوضح هذا ببساطة شـديدة تـركيب الـ د·ن·أ ، من خلال التمييز بشكل واضح بين اثنين من مناطقه الرئيسية — الهيكل الحلزونى والمركز الرئيسى — وتمثيلهما بشكل تخطيطى بدلا من توضيح كل ذرة . وللهياكل الحلزونية تركيب متكرر منتظم ، أى أنها متطابقة من قطعة لأخرى فى الـ د.ن.أ ، ومن أحـد الجينات للجـين الآخر ، ومن ثم فلا تحمل أية معلومات وراثية ، بل تقع هذه المعلومات داخل المركز الرئيسى ، الذى تم تبسيطه فى شكل ١٣ — ٣ ب ، من خلال استبدال ذراته بالحروف الأولى من المجموعات الكيميائية المختلفة الموجودة بداخل المركز . ويتكون مركز أى حلزون مزدوج لحمض د.ن.أ مـن أربع مجموعات كيميائية مختلفة فقط ، تعرف بالقواعد . وهذه القواعد هى ، الأدنين A والثيامين T والجوانين (G) والسيتوسين (C) وتتضمن الاختلافات بين جزيئات الـ د.ن.أ المختلفة وكذا الاختلافات بين جينات الأميبا والفئران والانسان ببساطة على تسلسـلات مختلفة ترتب من خلالها القواعـد الأربع المـكونة لـ د·ن·أ· وعلى ذلك ، لكى نفهم كيفية عمـل الـ د.ن.أ ، يجب علينـا أن ندرس القواعد الأربـع والترتيب الذى توجد به داخل مركز الحلزون المزدوج .

فى شكل ١٣ ـ ٣ ج ، اتخذت عملية التبسيط خطوة نهائية • فقد أصبح الهيكل الحلزونى مفروداً وصار الآن ممثلا بخطين مستقيمين • وهذا يجعلنا نركز على القواعد الرئيسية التى تحمل المعلومات الوراثية • ويوضح هذا المخطط أن هذه القواعد تبرز فى مصفوفة مرتبة على الهيكل الحلزونى ، وان كل قاعدة تقع على احد الحلزونين تقابلها قاعدة اخرى على الحلزون الآخر ؛ ولكن لاحظ أنه توجد خطوط متقطعة بين قواعد الحلزونين المتقابلين ، بدلا من الخطوط المتصلة . وذلك لأن حلزون الـ د.ن.أ المزدوج ، ليس فى حقيقة الأمر جزيئا واحداً ، لكنه جزيئان متميزان ملفوفان حول أحدهما الآخر • فكل حلزون وقواعده المتصلة به ، وبمعنى آخر ، كل جديلة من جديلتى الحلزون المزدوج ، هى جزىء واحد متميز . والحلزونان ملتفان حول احدهما الآخر ، ومرتبطان ببعضهما بواسطة الجذب بين الخلوى الضعيف ، من النوع الذى ذكرناه فى الفصل الثانى عشر . وعلى ذلك فالحلزون فى حقيقة أمره جزىء مزدوج يرتبط فيه كل جزىء فردى بالآخر من خلال مصفوفة من الجذب الكهرومغنطيسى الضعيف بين أزواج القواعد المتقابلة ، التى تعرف « بالقواعد المزدوجة » . وخلاصة القول ، فان الحلزونات الفردية لا تعتبر حتى جزيئات حقيقية ، لكنها أيونات جزيئية ، حيث ان المجموعات الأيونية المشحونة بشحنة كهربية سالبة بارزة جميعها للخارج من كل من هيكل حلزونى .

ففى خطوتين فقط استطعنا أن نختصر تركيب الـ د.ن.أ الحلزونى المزدوج من مجموعة تشبه الواقع مكونة من خمسة أنواع من الذرات ، الى مصفوفة بسيطة من الحروف ( تمثل المجموعات الكيميائية الأربع ، التى نسميها بالقواعد ) ، والخطوط ( التى تمثل بقية الـ د.ن.أ ) والخطوط المتقطعة ( التى تمثل الروابط الضعيفة بين القواعد المتقابلة ). ويحتوى تركيب هذه المصفوفة البسيطة على السر فى كيفية عمل الـ د.ن.أ كمادة وراثية للحياة .

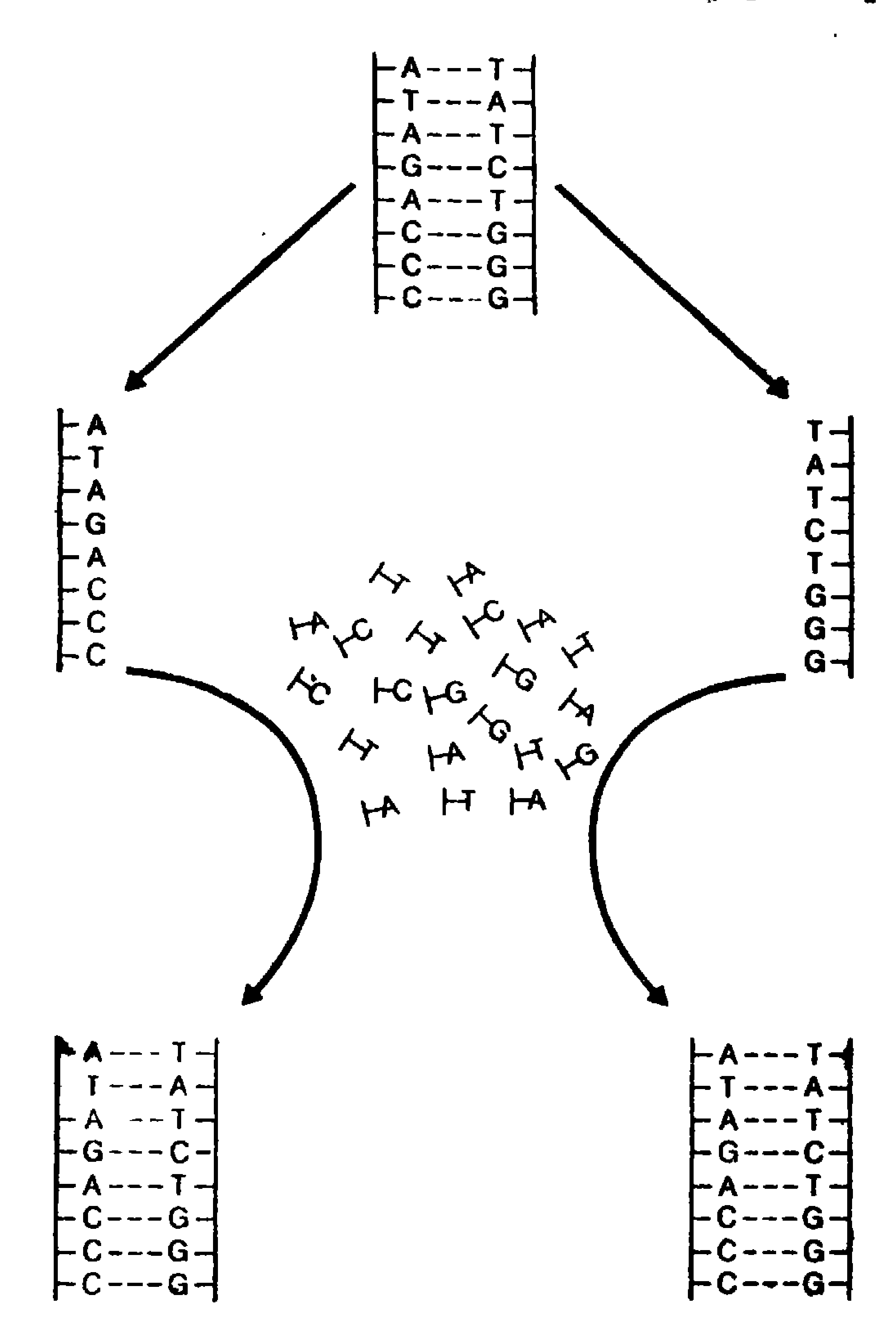
والخطوة الأولى نحو اماطة اللثام عن هذا السر ، هى البحث عن الترتيب الخفى الموجود فى تركيب الـ د.ن.أ. فهو ليس خفيا تماما ، لكنه قد يبدو خفيا من الوهلة الأولى . أمعن النظر فى القواعد المحددة التى تصنع ازدواجا قاعديا واحدا • فكلما ظهرت A فى احدى الجديلتين نجد أنها تتزاوج مع الـ T الواقعة فى الجديلة الأخرى ، وكلما وجدت الـ T ، فان شريكتها هى الـ A ونفس الشىء ينطبق على حرفى الـ G و C : فكل قاعدة C تتزاوج مع قاعدة G . وتعرف هذه

التزاوجات بقوانين الازدواج القاعدى ، وهى تنتج من التركيبات الكيميائية الثلاثية الأبعاد للقواعد . وخلال كل الـ د.ن.أ الموجود فى اية خلية ، يوجد نوعان فقط من القواعد المزدوجة — قواعد الـ A تتزاوج مع قواعد الـ T ، وتتزاوج قواعد الـ G مع قواعد الـ C سواء فى هذا الاتجاه أو ذاك . فهذه هى القواعد المزدوجة الوحيدة التى يمكن أن تتألف مع بعضها البعض داخل تركيب الحلزون المزدوج ، وهى توصف كأزواج بين القواعد المتتامة ، فالقاعدة A تتمم القاعدة T ، مثلما تتمم القاعدة G القاعدة C . فأى جديلتين من الـ د.ن.أ التى ترتبط تسلسلاتها القاعدية تبعا لقوانين الازدواج القاعدى ، تعتبر جدائل متتامة ، وهذه الجدائل المتتامة فقط من الـ د.ن.أ هى التى يمكن أن ترتبط ببعضها البعض لتكون الـ د.ن.أ الحلزونى المزدوج . وتعتبر ظاهرة الازدواج القاعدى المتتام هى المفتاح لكل أنشطة الـ د.ن.أ ، وتذكر أن ظاهرة الازدواج القاعدى المحددة ، هى ببساطة نتيجة كيميائية أوتوماتيكية لتركيب القواعد المستخدمة .

والآن دعنا نعود الى الشيئين اللذين يجب أن يقوم بهما الـ د.ن.أ ، لكى نرى كيف تتيح ظاهرة الازدواج القاعدى المحددة القيام بهما . فالـ د.ن.أ يجب أن ينسخ بطريقة ما ، حتى يوفر نسخا للأجيال القادمة ، والتى تختصر الى الحاجة الى توفير نسخة لكل من الخليتين المتكونتين ، عندما تتضاعفان من خلال انقسامهما الى نصفين ؛ ويجب أن يكون الـ د.ن.أ قادرا بطريقة ما على أن يحتوى المعلومات ؛ تلك المعلومات المطلوبة من أجل توجيه تصنيع جزيئات بروتينية محددة .

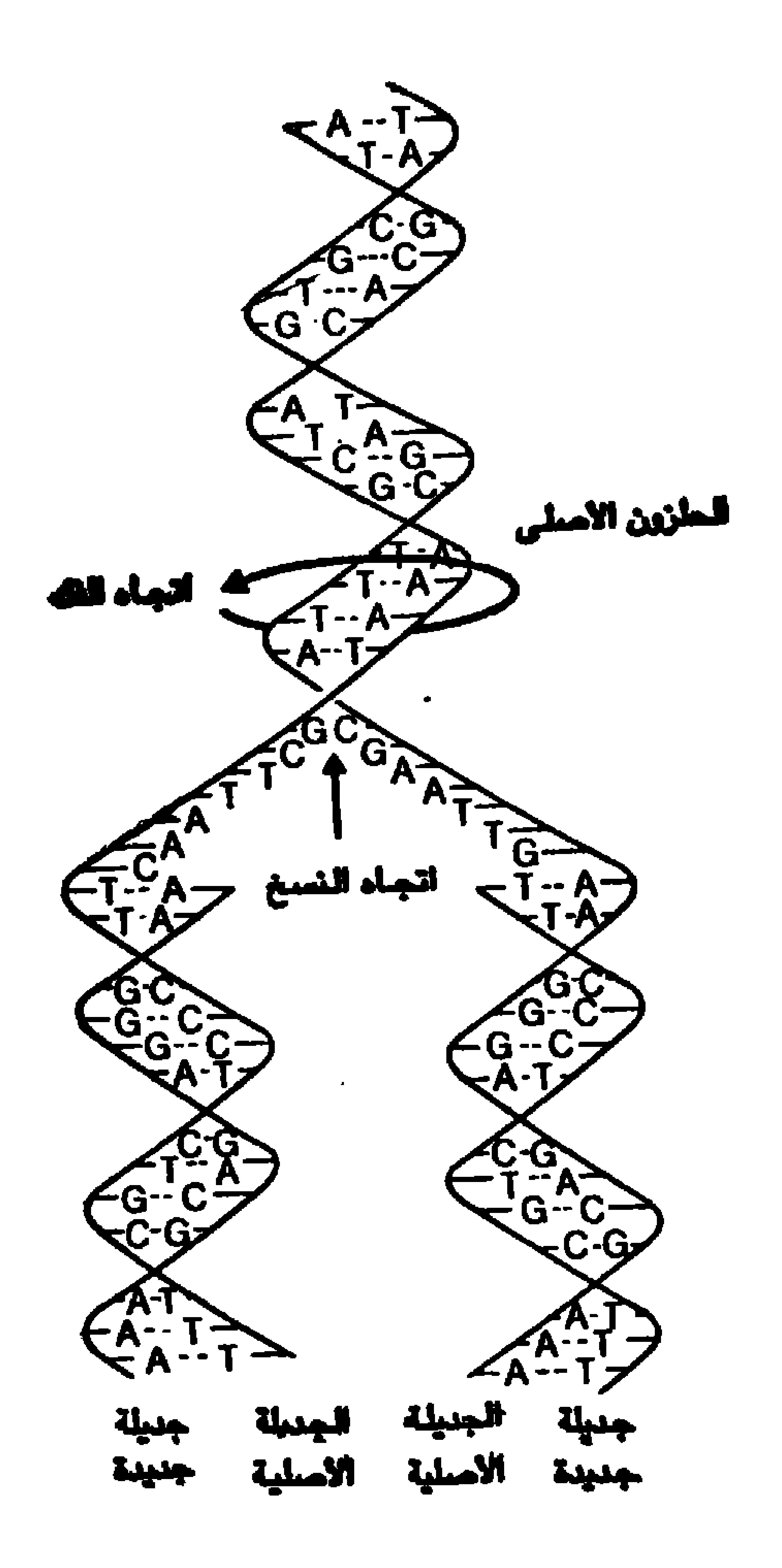
وتحدق الاجابة على مشكلة النسخ فى وجهك ، عندما تتفحص شكل ١٣ — ٣ ج . يجعل تركيب الـ د.ن.أ من السهل جدا انتاج نسخ حقيقية من اى حلزون مزدوج معين ، لأن كل المعلومات المطلوبة لعمل حلزون مزدوج كامل ، محتواة داخل اية جديلة من جديلتيه . ولكى ندرك هذا ، تخيل جديلتين لنموذج من الحلزون المزدوج ، تتمزقان ، وقد زودت بواحدة منهما فقط . وعلى شرط انك أعطيت موردا من القواعد الأربع المرتبطة بالذرات ، التى تكون الهيكل الحلزونى ، فيمكنك بسهولة اعادة انشاء الحلزون المزدوج الأصلى . فكل ما تحتاجه ، هو أن تربط جديلة جديدة مع القواعد الموجودة تبعا لقوانين الازدواج القاعدى ( انظر شكل ١٣ — ٤ ) . وهذا قريب الشبه كثيراً بما يحدث فى الخلايا الحية ، عندما يستنسخ الـ د.ن.أ الخاص بها ، اذ يفك الحلزونين المكونين للحلزون المزدوج بفعل نشاط العديد من البروتينات القادرة

على ربط لولبى الحلزون ، وتحفيز فكهما ، وبعد ذلك تعمل بروتينات أخرى كانزيمات لتحفيز التفاعلات التى تربط القواعد الجديدة المطلوبة وذرات الهيكل فى حلزونين جديدين ، ويكمل الواحد منهما كل واحدة من الجديلتين المفصولتين الأصليتين ( انظر شكل ١٣ ـ ٥ ) •




شكل ١٣ ـ ٤

اى شخص مزود بجديلة واحدة فقط من جديلتى حلزون الـ د٠ن٠أ المزدوج ومورد من النكليوتيدات ( القواعد المرتبطة بالذرات التى تشكل هيكل الـ د٠ن٠أ ) يمكن أن يعيد تخليق الحلزون المزدوج الاصلى بسهولة ، من خلال اتباع قوانين الازدواج القاعدى •




شكل ١٣ ـ ٥

نسخ الد•ن•ا ذى الحلزون المزدوج

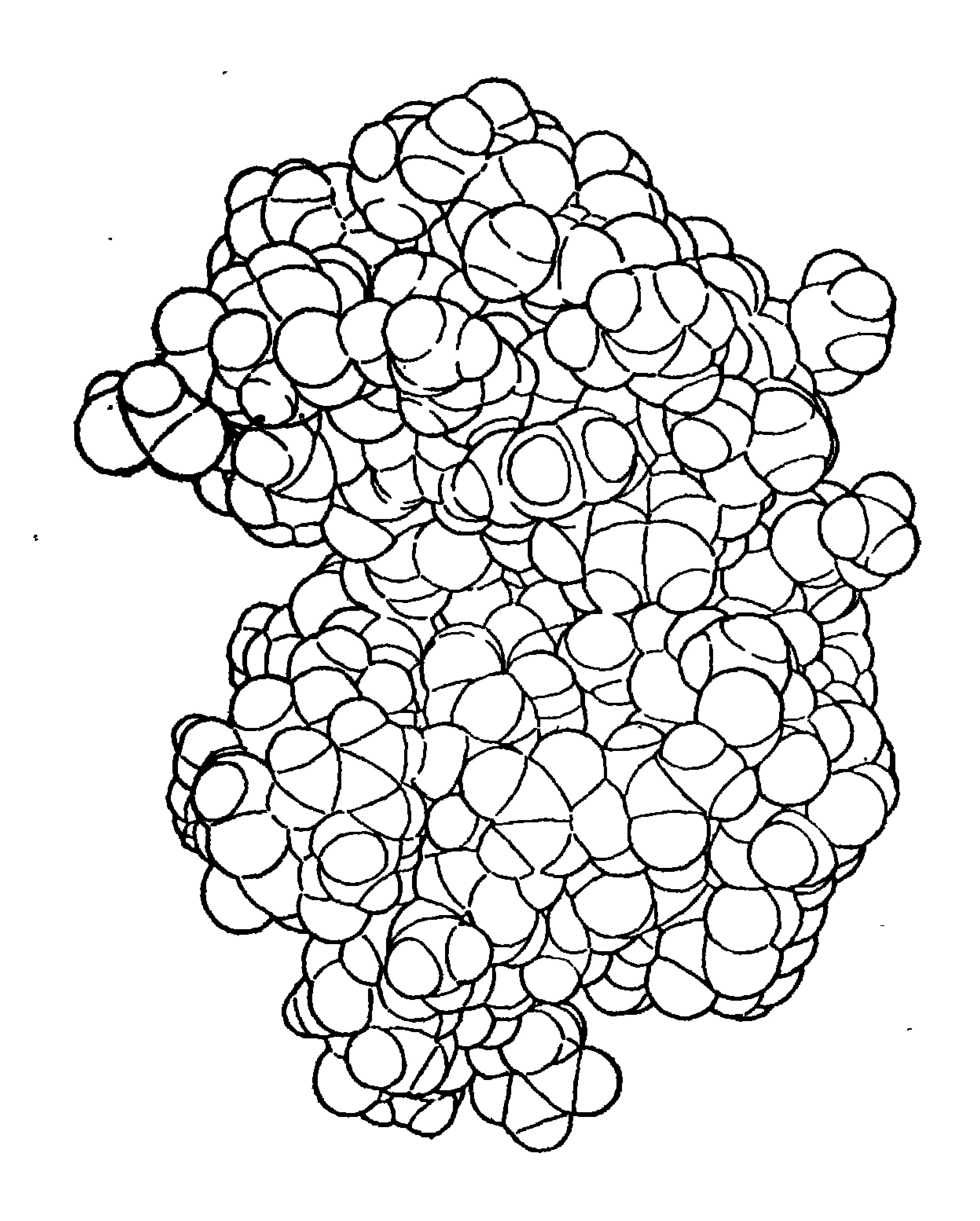
وعلى الرغم من أن جميع الانزيمات تحفز كل التفاعلات الكيميائية المستخدمة فى عمل نسخة مطابقة من د٠ن٠أ ، فان تخصص العملية يرجع الى تركيب قواعد الـ د.ن.أ. وتتكون الازدواجات الصحيحة للقواعد ببساطة ، لأن هذه القواعد هى الوحيدة التى يمكن أن تتكون بالطريقة التى تسمح للانزيمات الموجودة بأن تربط القواعد الجديدة فى سلسلة د.ن.أ نامية . فاذا ما حدث ازدواج غير صحيح ، شىء مما يتوقع حدوثه ، فان القواعد ستكون فى الموضع الخاطىء بالنسبة لحدوث التفاعل الرابط ، ومن هذا المنطلق يكون اعتبارها « غير صحيحة » .

وهكذا رأينا الاجابة عن مشكلة النسخ ، وهى بسيطة للغاية . والاجابة عن مشكلة المعلومات بسيطة أيضا من حيث الجوهر ، لكنها اكثر تعقيدا فى تفاصيل كيفية ترجمتها لخلق جزيئات بروتينية عاملة .

والشىء الوحيد الذى يتغير فى الجلزونات المزدوجة المختلفة لـ ( د.ن.أ ) ، هو التسلسل الذى ترتب به القواعد . وعلى ذلك ، فالمعلومات الوراثية المدمجة فى تركيب الـ د.ن.أ ، تترجم بطريقة ما فى تسلسل قواعد الـ د.ن.أ. ويمكن أن يحتوى حلزون مزدوج أى تسلسل من القواعد مهما كان . ومن ذلك يبدو أن هناك مجالا خصبا للتغيير فى التركيب الدقيق للقطاعات المختلفة للـ د.ن.أ. وتصبح الطريقة التى يمكن أن تتحول من خلالها هذه التغييرات فى التسلسل القاعدى الى المعلومات المطلوبة لانشاء بروتينات محددة جلية تماماً عندما نختبر التركيب الكيميائى للبروتينات .

ويعطينا الشكل ١٣ — ٦ انطباعا سليما عن الصورة الحقيقية لجزىء البروتين ، اذ يوضح بروتينا تمثل فيه كل الذرات الفردية بواسطة كرات ، الا انه لا يوحى بشىء عن البساطة الكامنة فى داخل هذا التعقيد التركيبى الظاهرى . ونستطيع على الفور أن نستكشف هذه البساطة ، كما فعلنا مع الـ د.ن.أ ، عن طريق استبدال الذرات الفردية ، بتمثيلات تخطيطية للمجموعات الكيميائية العديدة لصنع بروتين . فكما يوضح الشكل ١٣ — ٧ ج ، فجميع البروتينات مكونة من سلسلة طويلة من الجزيئات ، نشأت من ربط العديد من الجزيئات الأصغر المسماة بالأحماض الأمينية ببعضها البعض ، والتى تمثل بواسطة مستطيلات فى الشكل . ويتكون كل حمض أمينى من حوالى عشر الى عشرين ذرة ، وعدد الأحماض الأمينية التى تكون البروتينات هو

عشرون ، الا أن معظم البروتينات تحتوى على تشكيـــلات من عـــدة مئات من هذه الأحماض .



شكل ١٣ ـ ٦

جزىء بروتينى

وبمجرد أن يتكون البروتين من ارتباط الأحماض الأمينية بالتسلسل الصحيح ( وهى العملية التى تقوم بالتحفيز عليها الانزيمـــات ، بطبيعـــة الحال ) ، حينئذ تطوى سلسلة البروتين الطويلة عادة الى شكل محدد

بطريقة دقيقة ، والتى تمثل تخطيطيا بالشكل ١٣ — ٧ ج ، وبصورة اكثر واقعية كما فى الشكل ١٣ — ٦ . وفقط حين يطوى البروتين فى صورته النهائية ، يستطيع عندئذ أن يقوم بدوره الكيميائى ، مثل عمله كانزيم يمكنه تعجيل احد التفاعلات الكيميائية المحددة ، الا أنه من المهم أن ندرك ان طبيعة عملية الطى هذه ، تتحدد تماما بواسطة الأحماض الأمينية فى سلسلة البروتين ، وبالترتيب الذى ترتب به . ويجرى طى البروتين فى تركيبته النهائية بواسطة القوى الكهرومغنطيسية للجذب والتنافر بين الأحماض الأمينية للبروتين والبيئة المائية داخل الخلية . وعلى ذلك ، فبمجرد أن ترتبط الأحماض الأمينية فى التسلسل الصحيح، فان مهمة تصنيع البروتين تكون قد انتهت بالفعل . بعد ذلك ، تطوى سلسلة البروتين الى تركيب دقيق ثلاثى الأبعاد شكلته القوى الكهرومغنطيسية ؛ وسوف يكون هذا هو التركيب الذى يسمح له بأداء مهمته البيولوجية المحددة بدقة عالية .

وعلى ذلك ، بدأ الدور الذى تقوم به المعلومات الوراثية يتخذ صورة ابسط وأوضح : فالمعلومة الوراثية التى توجه تصنيع بروتين معين ، تأخذ صورة تسلسل طولى من القواعد فى د.ن.أ ، وان ما يجب أن تقوم به هذه المعلومات الوراثية ، هو تحديد التسلسل الطولى الذى ترتبط من خلاله سلسلة من الأحماض الأمينية ببعضها البعض . وعلى ذلك ، فلكى نعرف كنه الطريقة التى يتحكم بها الـ د.ن.أ فى تصنيع البروتين ، سوف لا نحتاج الا الى معرفة العلاقة بين التسلسل القاعدى للجين وتسلسل الحمض الأمينى للبروتين . ويمكن أن نذكر الاجابة بوضوح تام : فكل تسلسل مكون من ثلاث قواعد فى الـ د.ن.أ، يمكن ان يوجه حمضا أمينيا معينا لأن يرتبط فى مجموعة من سلسلة بروتينية نامية . وتسمى كل ثلاث قواعد تقابل حمضا امينيا معينا « كودون « Codon » » (٤) .

وتلخص هذه الجملة الواحدة ، عملية معقدة وعجيبة ، لم تعرف تفاصيلها بالكامل حتى الآن ، فى حين أن الصفحات القليلة التالية ،

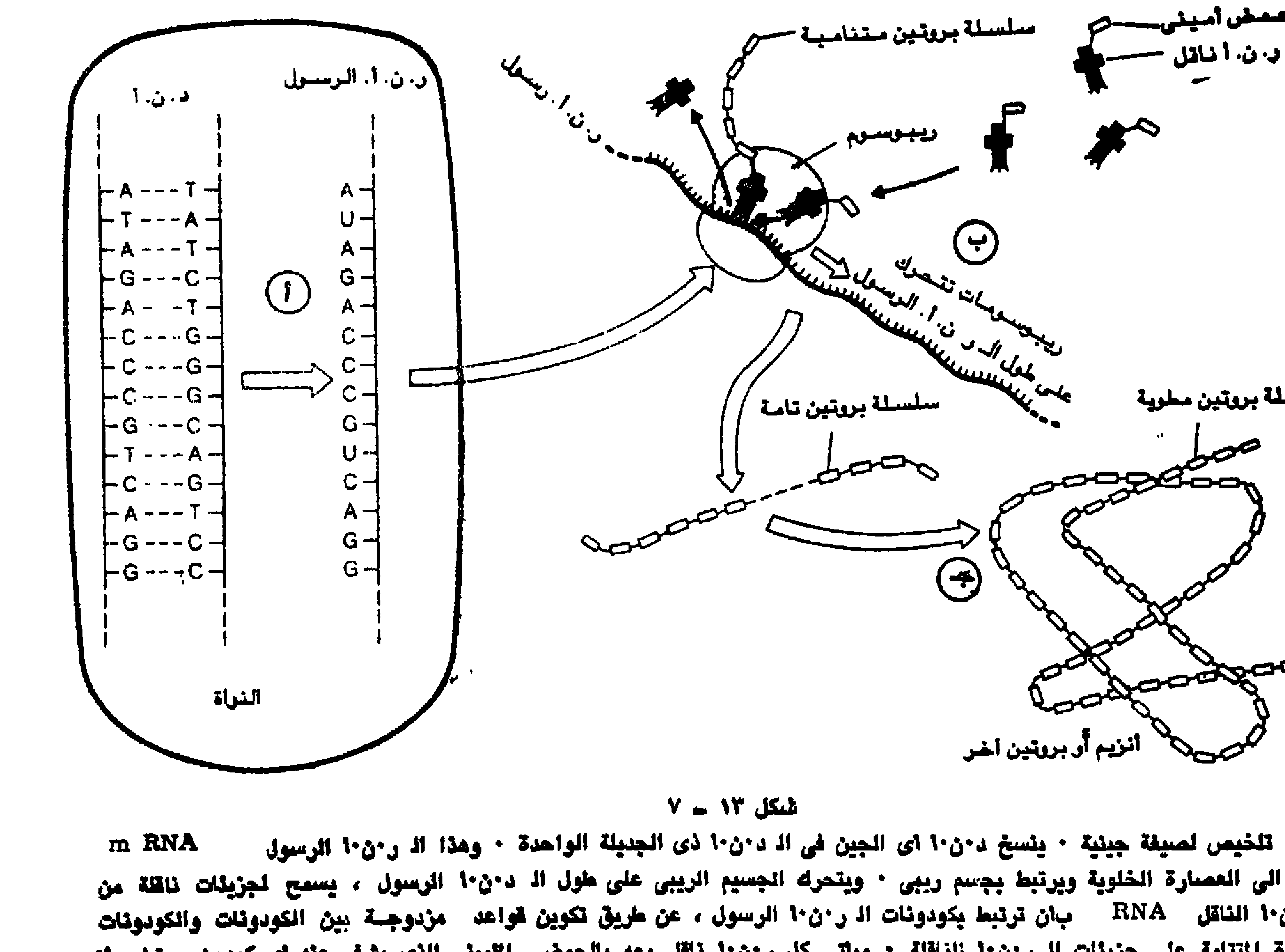
سوف تعرض فى ايجاز مختصر ، ما هو معروف عن هذه الآلية الأساسية للحياة . ويمكنك أن تجد وصفا تخطيطيا فى اشكال ١٣ ــ ٧ أ ــ ب .

فهى تبدأ بالــ د.ن.أ : النسخة الرئيسية للمعلومات الوراثية لأية خلية . وتذكر أن الجزء من أجزاء الــ د.ن.أ ، والذى يحتوى عـــلى شفرة بروتين معين ، يسمى جين ، وأن أول شىء يحدث عندما يتسبب الجين فى حدوث بروتين ، هو أن نسخة الجين تصنع فى صورة حمض يسمى « الحمض الريبى ، أو ر.ن.أ. R.N.A. » وهناك اختلافان واضحان بين الــ د.ن.أ ونسخته الــ ر.ن.أ العاملة . اولا ، أن الــ ر.ن.أ ذو جديلة واحدة ، بينما يكون الــ د.ن.أ من جـــديلتين يكونان الحلزون المزدوج . بمعنى انه نسخة مطابقة من احدى جديلتى الـ د.ن.أ ( و الــ ر.ن.أ الموجود بالشكل هو نسخة مطابقة من الجديلة اليسرى من الحلزون المزدوج غير الملفوف ) . وايضا ، كلما ظهـــرت القاعدة T فى د.ن.أ ، فهناك قاعدة مختلفة تعرف بـ U ( قاعـــدة اليوراسيل ) ، تظهر فى نسخة الــ ر.ن.أ. وقاعدة اليوراسيل تشابه تماما فى تركيبها قاعدة الثيامين أى T ، وتكون الازدواج القاعدى مـــع الأدنين A ، تماما كما يفعل الثيامين ،وعلى ذلـــك فمن أجل الغرض الذى نقصده ، فان قواعد الــU فى ر.ن.أ و T فى د.ن.أ يمـــكن اعتبارهما يتصرفان بطريقة متماثلة .

والنسخة المطابقة من ر.ن.أ لاحدى جديلتى الحلزون المزدوج ، تتم بطريقة مشابهة تماما كنسخ جديدة من الــ د.ن.أ نفسه . وفى هذه العملية يفك جزء من الحلزون المزدوج مؤقتا ، مما يسمح للانزيمـــات بأن تستخدم احدى الجديلتين ( الجديلة اليمنى فى شكل ١٣ ــ ٧ أ ) كنموذج لتصنيع الجديلة المتممة لها من ر.ن.أ. وتماما مثل عملية انتاج نسخ متطابقة من د.ن.أ ، تعتمد عملية النسخ على قواعد الازدواج القاعدى . وباستمرار عملية النسخ ، فان الجزء الذى انفـــك مـــن الحلزون المزدوج ، والذى تم نسخه ، يعود مطويا ، لينفك الجزء التالى الذى سينسخ . وعندما ينتهى الــ ر.ن.أ من نسخ الجين ، فانه يتحرر ليؤدى عمله ، ويعود الحلزون المزدوج الى حالته الطبيعية .

وتعرف نسخة الـ ر.ن.ا لجين « بالـ ر.ن.ا الرسول Messenger RNA ويكتب اختصارا (m RNA) ، حيث انه ينتقل من النواة ويدخل الى العصارة الخلوية ، حاملا معه رسالته الوراثية بتسلسل القواعد المرصوصة على طوله . وبالطبع ، تحدد محتويات الرسالة طريقة تصنيع البروتين . وفى واقع الأمر تتجمع البروتينات على تجمعات جسيمات تسمى بـ « الأجسام الريبية ، أو الريبوسومات ribosomes » ، وهى تجمعات كبيرة من البروتين ونوع آخر من الـ ر.ن.ا يسمى « الرايبوسومى Ribosomal RNA » ، وتوجد فى مواقع عديدة فى العصارة الخلوية للخلية ( انظر شكل ١٣ ـ ٧ ب ) . ويصبح الجسم الريبى ور.ن.ا الرسول مرتبطين بأحدهما الآخر من خلال تفاعل كيميائى معين . ويتحرك الجسم الريبى بعد ذلك على طول ر.ن.ا الرسول من أوله الى آخره . وأثناء قيامه بذلك ، يخلق البروتين الذى يشفر عنه الـ ر.ن.ا الرسول ، لأنه فى كل مرة يقابل الجسم الريبى تسلسلا من ثلاث قواعد ( كودون ) فى ر.ن.ا الرسول ، فـان الحمض الأمينى المعين ( ذلك الحمض الذى تشفر عنه القواعد الثلاث)، يربط بواسطة الانزيمات فى سلسلة البروتين المتنامية التى يتم تخليقها . وتبدو هذه العملية غامضة ويكتنفها السحر تقريبا ، لكنها تحدث من خلال سلسلة من التفاعلات الكيميائية البسيطة كالآتى :

تحتوى العصارة الخلوية على أعداد من طائفة أخرى من جزيئات نوع ثالث من الـ ر.ن.ا التى تعرف بالـ « ر.ن.ا الناقل أو Transfer RNA (t RNA) »،ويتصل بجزيئات هذا الحمض من ناحية تسلسل من ثلاث قواعد يمكن ان تتمم أحد الكودونات المكونة للحمض الريبى الرسول والملتصق بالريبوسوم ، ومن ثم فهذا التسلسل يسمى بالكودون المقابل anti codone ، ومن الجهة الأخرى أحد الأحماض الأمينية التا تخلق منها البروتينات . وعلى ذلك ، تحمل جزيئات ر.ن.ا الرسول كودونا يمثل حمضا أمينيا معينا ، ويحمل كل جـزىء ر.ن.ا الناقل هذا الحمض فى أحد طرفيه ، والكودون المقابل لنفس الحمض فى الطرف الآخر .




شكل ١٣ ـ ٧

• تلخيص لصيغة جينية • ينسخ د·ن·ا اى الجين فى الـ د·ن·ا ذى الجديلة الواحدة • وهذا الـ ر·ن·ا الرسول m RNA ينتقل الى العصارة الخلوية ويرتبط بجسم ريبى • ويتحرك الجسيم الريبى على طول الـ د·ن·ا الرسول ، يسمح لجزيئات ناقلة من الـ ر·ن·ا الناقل RNA بان ترتبط بكودونات الـ ر·ن·ا الرسول ، عن طريق تكوين قواعد مزدوجة بين الكودونات والكودونات المضادة المتتامة على جزيئات الـ ر·ن·ا الناقلة • ويأتى كل ر·ن·ا ناقل معه بالحمض الامينى الذى يشفر عنه اى كودون يستطيع ان يرتبط به الـ ر·ن·ا الناقل • وتتجمع الاحماض الامينية مع بعضها لتشكل البروتين الذى يشفر عنه الجين •

وعلى ذلك ، فعندما تنتقل الأجسام الريبية على طول جزىء ر.ن.أ رسول ، تصبح الكودونات مكشوفة فى موقع خاص على الجسم الريبى ، فيأتى جزىء الـ ر.ن.أ. الناقل ، ذو الكودون المقابل ، ليتصل بالكودون الذى كشف عنه ، ومعه الحمض الأمينى المطلوب ، ليرتبط بالسلسلة الجارى تخليقها لجزىء البروتين المطلوب. وتنتهى مهمة كل ر.ن.أ ناقل فى الجسم الريبى بمجرد أن يصبح حمضه الأمينى مندمجا بالسلسلة البروتينية ، فينفصل عن الريبوسوم وينطلق ليأتى بحمض جديد ؛ بينما ينتقل الجسم الريبى ليكشف كودونا جديدا ، وهكذا • ويوضح جدول الشفرة الوراثية الشهير التفاصيل التى تشفر من خلالها الكودونات عن أحماض أمينية معينة ، الموضح فى الشكل ١٣ — ٨ •

القاعدة/ النوبة الثانية

| القاعدة / النوبة الأولى | U | C | A | G | القاعدة/ النوبة الثالثة |
|---|---|---|---|---|---|
| U | UUU<br>UUC } Phe<br>UUA<br>UUG } Leu | UCU<br>UCC<br>UCA Ser<br>UCG | UAU<br>UAC } Tyr<br>UAA STOP<br>UAG STOP | UGU<br>UGC } Cys<br>UGA STOP<br>UGG Tryp | U<br>C<br>A<br>G |
| C | CUU<br>CUC<br>CUA Leu<br>CUG | CCU<br>CCC<br>CCA Pro<br>CCG | CAU<br>CAC } His<br>CAA<br>CAG } GluN | CGU<br>CGC<br>CGA Arg<br>CGG | U<br>C<br>A<br>G |
| A | AUU<br>AUC<br>AUA } Ileu<br>AUG Met | ACU<br>ACC<br>ACA Thr<br>ACG | AAU<br>AAC } AspN<br>AAA<br>AAG } Lys | AGU<br>AGC } Ser<br>AGA<br>AGG } Arg | U<br>C<br>A<br>G |
| G | GUU<br>GUC<br>GUA Val<br>GUG | GCU<br>GCC<br>GCA Ala<br>GCG | GAU<br>GAC } Asp<br>GAA<br>GAG } Glu | GGU<br>GGC<br>GGA Gly<br>GGG | U<br>C<br>A<br>G |

شكل ( ١٣ ـ ٨ )

جدول الشفرة الوراثية • وتمثل الأحماض الأمينية التى يشفر عنها كل كودون بأسمائها المختصرة المتعارف عليها •

وفى النهاية يصل الجسم الريبى المتحرك على طـول الــ ر.ن.أ الرسول الى كودون لا يجد له نظيرا على الــ ر.ن.أ الناقل . ويعرف هذا الكودون بكودون « التوقيف » (٥) ، لأنه يشير الى الموضع الذى يكتمل عنده تصنيع البروتين وبذلـك يتوقف . وينفصـل الــ ر.ن.أ الرسول والجسم الريبى والبروتين حديث التكوين كل منها عن الآخر ، تاركين البروتين مستعدا لاتمام عملية طيه ( وتبدأ عملية الطى فى الحدوث بمجرد أن يتم صنع الجزء الأول من البروتين ) ويبدأ فى القيام بمهمته الكيميائية داخل الخلية ، ويترك الجسم الريبى والــ ر.ن.أ الرسول مستعدين للدخول فى دورات اخرى من دورات تصنيع البروتين .

وها أنت قد تعرفت فى ايجاز شديد على الآلية الكيميائية الاساسية للحياة . فالتركيب الكيميائى للــ د.ن.أ يحـدد التركيـب الكيميائى للــ ر.ن.أ ، والذى بدوره يحدد التركيب الكيميائى لجزىء بروتينى جديد ؛ وتمضى هذه العملية بصورة آلية نتيجة لسلسلة من التفاعـلات الكيميائية البينية والتفاعلات المتكاملة ، التى تحفزها الانزيمات الموجودة داخل الخلية .

وتعرف عملية تخليق البروتين فى الجسم الريبى بعملية الترجمة ، حيث يجرى ترجمة الرسالة الوراثية الموجودة فى ر.ن.أ الرسول من لغة الــ د.ن.أ والــ ر.ن.أ ( أى من لغة الاحماض النووية ) الى لغة البروتينات . وتعرف العملية الكاملة لتحويل شفرة جـين الى بروتين والمتضمنة على كل من عمليتى النسخ والترجمة « بالصيغة الجينية » ؛ ومن المهم أن نتذكر أن كل الانزيمات المطلوبة لتحفيز كيميـاء صيغـة جينية ، وكل البروتينات المستخدمة الأخرى ، قد تم انتاجها من قبـل بواسطة عمليات سابقة . فقد تأسست كيمياء الحياة على اعتماد متبادل من التفاعل الضمنى بين الجينات والبروتينات : فالجينات توجه عملية تصنيع البروتينات لتوليد البروتينات المطلوبة لبقـاء ونسخ الجينـات ، ومطلوبة ايضا للسماح بالتعبير عن المعلومات الوراثية المختزنة بداخل الجينات . واعتدنا فى بيولوجيا الحياة اليومية على ادراك الاعتمـاد المتبادل بين الدجاجة والبيضة . وتنعكس هذه الصورة من الاعتمـاد المتبادل فى البيولوجيا الجزيئية على العلاقة القائمة بين الجين والبروتين.

وعلى ذلك ، يمكن تلخيص الآلية الأساسية للحياة فوق سطـح الأرض كالآتى : ( وانظر أيضاً الى الشكل ١٤ ــ ١ ) تعتبر الجينـات اجزاء طويلة من الد.ن.أ ، الذى ترتب عليه القواعد الأربع المختلفـة

بتسلسلات مختلفة . وتسمح التكاملية الكيميائية بين أزواج القواعد المتوافقة ، لواحد من الـ د.ن.أ حلزونى مزدوج بأن تكون لديه القابلية للنسخ الى حلزونين مزدوجين ، وهى عملية النسخ الكيميائى ، التى تنطوى عليها كل صور تكاثر الكائنات الحية . وتسمح قواعد الازدواج أيضا بأن يحدد كل جين تصنيع جزىء ر.ن.أ رسول ، والذى بدوره يحدد تصنيع أى بروتين . وأثناء هذه العملية يحدد تسلسل قواعد الأحماض النووية ، والـ د.ن.أ والـ ر.ن.أ التسلسل الذى تنطوى به جزيئات الأحماض الأمينية لتأخذ شكل بروتين جديد . وينطوى البروتين الجديد بطريقة أوتوماتيكية بشكل يسمح له بالقيام بمهمته ، كأن يعمل كإنزيم يستطيع التحفيز على تفاعل كيميائى أساسى فى الحياة . وجاءت الاختلافات بين الكائنات العضوية المختلفة ، نتيجة التفاعلات الكيميائية المختلفة التى تحدث بداخلها ، وتعتمد التفاعلات التى تحدث على البروتينات المشفرة عنها داخل الـ د.ن.أ فى جينات كل كائن عضوى .

## بروتينات قوية

ويبدو من الواضح من خلال جميع ما ذكرناه حتى الآن ، أن البروتينات هم « العمال » الجزيئيون الأساسيون ، الذين يقومون ببناء الخلايا والكائنات العضوية ، وعلى ذلك يجب أن نعطى مزيدا من الاهتمام للأشياء التى يمكن أن يؤدوها والطريقة التى يؤدون بها عملهم . وسوف اقوم فى عجالة سريعة بتلخيص الأدوار الأساسية التى تلعبها البروتينات فى الحياة .

الانزيمات هى أول شىء فى القائمة ، وهى البروتينات القادرة على تحفيز جميع التفاعلات الكيميائية الموجودة فى الحياة . كيف تقوم الانزيمات بمهامها الجليلة ، التى غالبا ما تتضمن زيادة معدل أي تفاعل عدة آلاف من المرات، فى حين لا تقدم أى عون على الإطلاق لكم لا يحصي من تفاعلات قريبة الشبه ، لأنها غير مرغوب فيها ؟ من حيث المبدأ ، فالاجابة غاية فى البساطة . فالانزيم فى صورته المطوية النهائية له شقوق وثنايا على سطحه لا يمكن أن تتلاءم فيها الا المواد الكيميائية المستخدمة فى التفاعل الذى تحفزه . وعندما ترتبط المواد المتفاعلة فى « مواقع الربط » هذه على سطح انزيم ، فانها توضع بتوجيه معين بحيث تجعل التفاعل يتم أسرع مما لو تم فى عدم وجود انزيم . ويمكن أن تشارك مجموعات كيميائية على الانزيم نفسه

والمنتمية الى العديد من الأحماض الأمينية فى التفاعل ، عن طريق جذب أو دفع الكترونات المواد الكيميائية المتفاعلة بطرق تشجع على استمرار التفاعل . وتجد بعض الانزيمات دعما فى أعمالها الحفزية البارعة من « انزيمات مشاركة coenzymes » ، والتى تعتبر جزيئات صغيرة بسيطة ، أو تجد حتى مساعدة أيونات فردية لبعض العناصر ، يمكنها الارتباط بهذه الانزيمات لتقدم لها العون الكيميائى . والقدرة على الامساك واستخدام هذه الانزيمات المشاركة أو الأيونات ، يعتبر بطبيعة الحال نتيجة لتركيب الانزيمات المعنية . ويجب أن تتعدل بعض الانزيمات بصورة دائمة عن طريق تفاعلات طى تحفز عن طريق انزيمات أخرى ، قبل أن يمكنها القيام بمهامها ، لكن تعتمد القدرة على المشاركة فى هذه التفاعلات التعديلية بدورها على تركيبات الانزيمات الخاضعة للتعديل .

فالانزيمات على درجة من الانتشار ، ومن الأهمية ، ومن الفعالية بحيث انه من السهل نسيان أن البروتينات تقوم بأعمال أخرى مهمة بخلاف عملها كانزيمات . وبخلاف الانزيمات ، فان الطائفة الأساسية التالية من البروتينات ، يحتمل أن تكون « البروتينات الانشائية » (Structual proteins) والتى كما يوحى اسمها ، فانها تكون معظم التركيب الفيزيائى الذى يجعل الخلايا والكائنات الحية متماسكة فى الشكل والهيئة التى هى عليها . ويمكن اعتبارها كنوع من « الدعامات الجزيئية » الموجودة داخل الخلايا وحولها وفيما بينها .

ولبعض هذه البروتينات الانشائية خاصية متميزة ، لكونها قادرة على الانزلاق أمام بعضها البعض لتخلق دعامة ديناميكية قادرة على الحركة والكبر أو الصغر حسب الضرورة . تلك هى البروتينات القابلة للانقباض التى تعطى عضلاتنا القدرة على الانقباض ، والتى تجعل الخلايا المنفردة تنقبض وتتمدد وتتحرك .

وتعمل بعض البروتينات الأخرى كناقلات كيميائية ، قادرة على الارتباط بمواد كيميائية معينة فى أحد المواقع ونقلها الى موقع آخر ، حيث تطلق سراحها هناك . وتحتوى دماؤنا على بروتين يعرف بالهيموجلوبين ، موجود فى كرات الدم الحمراء ، وهو المسئول عن نقل الأكسوجين من الرئتين الى خلايا الجسم .

وتعمل طائفة كبيرة ومتنوعة من البروتينات كرسل كيميائية . وتتكون هذه البروتينات وتنطلق من أحد الأماكن ، وبعد ذلك تنتقل الى

موقع آخر ، حيث تقوم بالتفاعل مع مواد كيميائية هناك ، لتحدث بعض التاثيرات الكيميائية المعينة . والعديد من الهرمونات ، مثل « هرمونات النمـو » growth hormone ، التى تساعدنا على النمـو ، هى اما عبارة عن بروتينات ، أو « بروتينات صغيرة » ، تعـرف بالببتيدات (Peptides)

وغالبا ما توصل هذه البروتينات التى تقوم بدور الرسل ، رسائلها عن طريق الارتباط باعضاء من فئة أخرى مهمة من البروتينات ، وهى البروتينات « المتقبلة » Receptor proteins ، التى توجد مندمجـة فى الغشاء المحيط بالخلايا · وتستجيب هذه المتقبلات لوصـول البروتين الرسول بأن تبدأ بنفسها تغيرا كيميائيا داخل الخلية ، وهو يعتبر الاستجابة المناسبة للرسالة ·

وبعض البروتينات الاخرى التى توجد مندمجة فى أغشية الخلايا ، تقوم بالتحكم فى مسار المواد الكيميائية الى داخل وخارج الخـلايا ، بالعمل « كبوابات » و « مضخات » كيميائية . والبوابات هى ببساطة عبارة عن قنوات ، يمكنها أن تنفتح وتغلق لتسمح أو تمنع مرور مـواد كيميائية معينة ؛ فى حين تضخ المضخات مواد كيميائية معينة بصـورة نشطة الى داخل وخارج الخلايا ، لتكوين تركيزات عالية من هذه المواد الكيميائية ، اما داخل أو خارج الخلايا .

وتقوم العديد من البروتينات بدور « التحكم » فى نشاط بروتينات أخرى ، أو فى نشاط الجينات والأحماض الريبية ، التى تقوم بتصنيـع البروتينات ، فهى عن طريق الارتباط بها يمكنها أن تتحـكم فى بدئهـا لنشاطها او ايقاف ذلك النشـاط .

واخيرا ، فى هذه القائمة التى لا يمكن اعتبارها بأية حال شاملة ، يمكن أن تعمل البروتينات كأسلحة دفاعية ، قادرة على الارتباط بالكائنات العضوية الغريبة أو الخلايا المريضة ، وبعد ذلك تبدأ سلسلة من الأحداث المؤدية الى تحييد أو تدمير « الهدف » . وتعتبر الأجسام المضادة من اكثر بروتيناتنا الدفاعية شهرة ، لكن توجد أخريات ·

ويكشـف هذا التلخيص السريع للقوى الرئيسية للبروتينات عـن مدى قوة وتنوع الأشياء التى يمكن أن تقوم بها هذه الشغيلة الجزيئية ؛ ومع ذلك ، ففى قلب كل هذه القوى المتنوعة تكمن بساطة شديدة . فهى تقوم بهذه الأشياء ، نتيجة للطريقة التى ترتب بها احماضـها الأمينيـة المعينة فى تسلسلات محددة ؛ ويعتمد كل شىء تفعله على قدرات عامـة

ثلاث : القدرة على الارتباط بطريقة انتقائية بمواد كيميائية معينة ، ثم القيام بدور الحفز الكيميائي ، و / أو الخضوع لتغيرات تشكلية ( أى تغيرات فى تركيبها المنطوى ) الذى يستحث بعد ذلك بعض الاستجابات الكيميائية الأخرى . فالارتباط الانتقائى والحفز والتغير التشكلى ، هى القوى الثلاث الرئيسية للبروتينات ، ووراء كل ما يمكن للبروتونات أن تقوم به ، وان ما تقوم به البروتينات فى الأساس هو تخليق الخلايا وجعلها حية وقادرة على النمو والتناسل . وقد رأينا الآلية الأساسية داخل الخلايا ، التى تصنع من خلالها الجينات البروتينات ، وتعمل البروتينات كمواد حافزة تسمح للجينات بتصنيع البروتينات والتى تسمح أيضا بنسخ الجينات : ولكن ماذا أيضا بالنسبة للخلايا ، وبالنسبة للحياة ؟

تحتوى الخلية بالاضافة الى الأحماض النووية وبروتيناتها ، على فئتين رئيسيتين أخريين من العناصر . أولا ، تحتوى على الأغشية : الغشاء الذى يحيط بالخلية كلها ، والأغشية الأخرى التى تعمل كسياج لبعض اجزاء من الخلية ، لضمها فى جسيمات عضوية متخصصة ، مثل النواة . ثانيا ، تحتوى الخلية على منظومة كبيرة من مواد كيميائية مستخدمة فى انشائها وصيانتها ، والتى يمكن الاشارة اليها بصورة جامعة « بالأيضيات metabolites » وهى اما أن توجد متحللة فى ماء العصارة الخلوية واما أن تظهر كتراكمات غير ذائبة او خلال الخلية . وفى الأساس ، لا تمتلك الخلية شيئا آخر للخلية سوى احماضها النووية وبروتيناتها واغشيتها وأيضياتها .

ويمكن تلخيص الطبيعة الأساسية للحياة الخلوية كالآتى : يجب أن تستخدم الخلية المواد الأولية من البيئة المحيطة بها ، وتصنعها الى مواد كيميائية تحتاجها ، وتفرز النفايات غير المرغوب فيها ، وتعمل على دوام الآلية المركزية لتصنيع وصيانة البروتين . وتقوم الانزيمات بتحفيز كل خطوة كيميائية ، فى حين تحدد بروتينات أخرى مندمجة فى غشاء الخلية ، ما يمكن أن يمر الى أية خلية ، وما يمكن أن يخرج منها . وتعتبر الخلايا ماكينات كيميائية معقدة بشكل عجيب ، بالرغم من دقة حجمها المتناهى ، « مكرسة » للحفاظ على نسخ د.ن.أ الأساسى الخاص بها . وانشطتها لها تأثير أساسى واحد فقط : البقاء والتكاثر . وتعيش الكائنات الحية فترة من الوقت ثم تنقسم الى خلايا أكثر ، وهذه هى الطبيعة الأساسية للحياة .

الا أن هناك سمة واحدة حيوية من كيمياء الحياة ، لم نأخذها فى الاعتبار بعد ؛ ما الذى يجعل الخلية تستمر ؟ ففى العمق البعيد عند أكثر المستويات الأساسية ، يحتمل أن تتوقع الاجابة ، الا وهى « تشتت الطاقة » ، وهذه هى الحالة بالفعل . فتماما مثلما يتحتم على كل عملية كيميائية فردية أن تستمر فى اتجاه تشتت الطاقة ، فكذلك تستمر الأعداد الضخمة من التفاعلات المتكاملة للحياة أيضا فى نفس الاتجاه ، بسبب تشتت الطاقة . فالميل الحتمى للطاقة للاتجاه نحو التشتت ، يدفع حياتك قدما ، بنفس القوة التى يدفع بها انفجار الأكسجين والهيدروجين عند تكوين الماء .

فبعض التفاعلات الكيميائية التى تتم فى الكائنات الحية ، تسير بالفعل فى اتجاه تشتت الطاقة ، وعلى ذلك لا توجد مشكلة فى فهم السبب فى استمراريتها . الا أن الكثير من كيمياء الحياة ، يمكن أن يبدو من الوهلة الأولى ، وكأنه يسير فى الاتجاه المعاكس . وما أقصده بهذا ، هو أن العديد من التفاعلات فى الخلية ، تحول الطاقة المنخفضة للمواد الأولية غير المنظمة الى طاقة أعلى ومنتجات منظمة جدا . وهذا على الرغم من فكرة أن العالم المحيط بالكائنات الحية ، له محتوى قليل نسبيا من الطاقة ، بالمقارنة بما لدى الكائن الحى ؛ اذ يجعل الاتجاه الطبيعى لتشتت الطاقة متجها نحو الخارج بدلا من أن يتجه نحو الداخل . الا أن كيمياء الحياة لا تشذ عن القانون الفيزيائى والكيميائى . وبدلا من ذلك ، فالتفاعلات التى قد تبدو انها متجهة ضد انسياب تشتت الطاقة ، هى فى الحقيقة ، عبارة عن جزء من تفاعلات أكبر ، تتحرك فى اتجاه تشتت الطاقة على الاجمال .

ولنأخذ فى الاعتبار مثالا محددا . اذ تصنيع بروتين من أحماض أمينية عديدة ، هو عملية تحتاج الى الطاقة . وبمعنى آخر ، فالطاقة الموجودة داخل تركيب البروتين أكبر من الطاقة الكلية المندمجة داخل الأحماض الأمينية الفردية . غير أن التفاعلات الكيميائية التى تربط الأحماض الأمينية ببعضها البعض ، ما هى الا جزء صغير من العملية الكيميائية المتكاملة التى تحدث فى الجسم الريبى . وتتضمن تفاعلات أخرى من العملية مواد كيميائية عالية الطاقة ، تتجزأ الى مواد كيميائية منخفضة الطاقة ، وتطلق هذه التفاعلات المزيد من الطاقة التى تكفى لدفع عملية صنع البروتين للأمام . ويمثل هذا قانونا عاما لكيمياء الحياة : تقترن بالتفاعلات المتطلبة للطاقة دائما تفاعلات أخرى مخرجة للطاقة ، ويعنى أن كليهما يجب أن يحدثا سويا ، وأن التفاعلات المخرجة

للطاقة ، تخرج دائما طاقة أكثر من الطاقة التى تطلبها التفاعلات المتطلبة للطاقة . وعلى ذلك ، يتضح كيف تستمر كيمياء الحياة دون أن تخالف قوانين الفيزياء والكيميـــاء . فالعمليـات التى تعـزز الحيـــاة تزدوج مع بعضها البعض فى عملية كيميائية معقدة واحدة ، وتستمر هذه العملية فى اتجاه تشتت الطاقة ، مثلها مثل أى شىء آخر .

ومن كل ما ذكرته حتى الآن ، يبدو من الواضح أن الخلايا تحتاج الى مورد من المواد الكيميائية ذات الطاقة العالية لكى تدفـــع قدمـــا التفاعلات المتطلبة للطاقة . وهذه احدى الوظائف الأساسية للغذاء ، ولكن المواد الكيميائية المحتوية على الطاقة فى غذائنا يجب أن نحصل على طاقتها من مكان آخر ، وفى النهاية ، فكل هذه الطاقة ، وكذلك كل الطاقات التى تدفع بكيمياء كل الحياة تأتى جميعها من الشمس .

والعملية الأساسية التى تؤدى الى حدوث كيمياء الحياة فى النبات تسمى « بالتمثيل الضوئى photosynthesis » ففى التمثيل الضوئى ، تستغل الطاقة التى تشعها أشعة الشمس عن طريق سلسلة معقدة من التفاعلات لتحويل ثانى أكسيد الكربون والماء الى مركبات عالية الطاقة تسـمى بالمواد الكربوهيدراتية carbohydrates ، وتطلق غاز الأكسجين كأحد النواتج الثانوية ، بعد ذلك تقدم هذه المواد الكربوهيدراتية الطاقة لكل نشاط آخر . وفى ايجاز بسيط تصبح الطاقة متاحة عندما تتحد المواد الكربوهيدراتية مع الأكسجين ( الاكسجين الذى نتنفسه ، على سبيل المثال ) ، لتتحول مرة أخرى الى ثانى أكسيد الكربون وماء . وعلى ذلك ، تعتمد كل صور الحياة على الطاقة التى تشعها الشمس ، فهذه الطاقة هى التى تمثل القوة الدافعة للكيمياء التى تخلق النباتات ، والتى تستخدم كمواد خام محتوية على الطاقة لغذاء الحيوانات ، التى بدورها تمثل مصدرا غذائيا لحيوانات أخرى .

وعلى ذلك ، وبصورة اجمالية ، فالحياة هى عملية كيميائية ، تدفع من خلال تشتت الطاقة القادمة من الشمس . وهى تمضى أوتوماتيكيا وبصورة حتمية ، كلما اصطدمت هذه الطاقة بالأرض ، وصعدت ببعض موادها الكيميائية الى التعقيد الكيميائى عالى الطاقة فى العالم الحى .

الفصل الرابع عشر

# التطــــور

## EVOLUTION

ثمة شيء يعتبر واضحاً لأى انسان يمعن التفكير فى طبيعة الحياة على سطح الأرض ؛ وهو أن الكائنات الحية تعيش فترة من الزمــن ثم ينقضى أجلها ؛ ولكن اثناء حياتها تستطيع أن تنتج كائنات حية جديدة تعيش من بعدها · فالتكاثر والفناء يعتبران من السمات الأكثر وضوحا فى الحياة . والشيء الأقل وضوحا ، على الرغم من أنه مقبول ، هو أنه مع مضى دورات الميلاد فالحياة فالتكاثر ثم الموت ، تتغير طبيعة الكائنات الحية لأية جماعة على سطح الأرض تغيراً تدريجياً . وبفضـــل هــــذه التغيرات يمكن أن تبدو وتسلك الكائنات الحية فى حقبة زمنية بشكل متغير تماما عما كانت عليه الكائنات الحية من نفس جنسها ، والتى عاشت على سطح الأرض فى عصور سابقة . وهذه التغيرات تدفع بالعملية التى يطلق عليها « التطور عن طريق الانتخاب الطبيعى » ، والتى تعتبر العملية الوحيدة المعروفة القادرة على تغيير بنية الكائنات الحية .

ولبحث قوانين التطور عن طريق الانتخـــاب الطبيعى ، يمكننـــا التحدث بعبارات عمومية جدا ، والنظر الى ما يجب أن يحدث بصورة حتمية « لأشياء » معينة ذات خصائص معينة ، بغض النظر عن كونها من صور من الحياة أم لا . وعلى ذلك ، تخيل مجموعة كبيرة من الأشياء — والتى لا يعنينا نوعها — على شرط أن تمتلك قدرة أساسية واحدة ؛ القدرة على استيلاد أشياء جديدة ، تكون مشابهة لها الى حد كبير ، ولكن تختلف عنها اختلافا طفيفا · وافترض أن هذه الأشياء موجودة فى بيئة تتوفر بها كل المواد الأولية المطلوبة التى تجعلها تولد كائنات جديدة ،

على الرغم من أن توفر هذه المواد الأولية محدود ، أو نادر غالباً ، وافترض أيضاً أنه لا يوجد كائن من هذه الكائنات خالد ، بل كل كائن فرد سيموت حتماً في النهاية ، اما لأن وظائفه قد بدأت تعمل بصورة غير سليمة ، أو اعتراه التمزق والبلى . ماذا سيحدث لجماعة منها مع مضي الزمن ؟ والاجابة البسيطة ، هي انها سوف تتطور بفعل الانتخاب الطبيعي . والآن دعنا ندرس ماذا يعني هذا .

ستلد الكائنات الموجودة كثيراً من الكائنات المشابهة لها ، بالرغم من عدم وجود كائنان متماثلان تمام التماثل ، حيث تنتج عملية التكاثر دائما انماطا متشابهة ، بينما تختلف اختلافا طفيفا عن الكائنات الموجودة . وكل كائن أصلي سيكون قادرا على تكوين سلسلة من الأحفاد المنتسبة اليه . وسوف تموت الكائنات القديمة بصورة دورية في الوقت الذي تولد فيه كائنات جديدة . وسوف يعتمد زيادة او نقص عشيرة من الكائنات الحية على الفرق بين معدل الوفيات ومعدل المواليد .

ولما كان لا يوجد كائنان متماثلان ، فلابد وأن يكون للبعض منها ظروفا افضل في البقاء والتكاثر عن البعض الآخر . وبمعنى آخر ، ستكون بعض الكائنات قادرة على البقاء لفترة أطول من كائنات أخرى ، أو تتكاثر بصورة أسرع من كائنات اخرى ، أو تتمتع بكلتا الخاصيتين . ولما كان النسل الناشيء من كل كائن يرث معظم صفات آبائه ، فمع مضي الزمن ستزداد نسبة الكائنات الصالحة والمتكاثرة في مجتمع الكائنات ، بينما تتناقص نسبة الكائنات الحية غير الصالحة أو التي لم تستطع مقاومة الظروف السائدة . وبمعنى آخر ، فان هذه الكائنات الصالحة ، التي تتكاثر وتقاوم الفناء ، سوف تقوم بهذا : سوف تعيش لفترات زمنية أطول ، وتلد مجموعة من الكائنات الأخرى يمكنها أن تعيش لفترات زمنية طويلة ، وبدورها ستنجب مجموعة كبيرة من النسل . وتلك الكائنات الضعيفة التي لم تستطع مقاومة عوامل الفناء ، سوف تعيش لفترات زمنية محدودة ، وتلد أعداداً قليلة من الكائنات التي سترث أيضا الضعف من آبائها .

وعلى ذلك ، فأية جماعة من الكائنات المتكاثرة والمتغيرة تغيراً طفيفا ، سوف تصبح بالتدريج وبصورة حتمية غنية بالكائنات التي تعيش لفترة أطول وتتكاثر بصورة أسرع من آبائها ، وتتفوق على تلك الكائنات التي تعيش لفترات محدودة ، والتي يكون نسلها قليلا .

وقد يكتب البقاء أيضا للكائنات التى تعيش لأجل قصير ، ولكنها تستطيع التكاثر بسرعة ، أو المتناسلات ببطء والتى تستطيع أن تعيش لفترة طويلة . فعاملا البقاء لزمن أطول وسرعة التكاثر يعملان سويا فى تفاعل معقد ، لتحديد كيف ستصبح أية سلالة من الكائنات لها السيادة ؛ لكن هناك شيئا واحدا مؤكدا دائما : هو أن الكائنات قصيرة العمر أو فقيرة النسل سيكتب عليها فى النهاية الانقراض ، عندما تصبح المواد الأولية الضرورية للتناسل نادرة .

فأى انسان يراقب وتحيره التغيرات التى تحدث فى عشيرة ما على مدى أجيال عدة ، سيلاحظ فى الحال أن هذه العشيرة كانت تتطور ؛ أى أصبحت بشكل متزايد غنية بالمزيد من الأشياء « الناجحة » ، حيث يقاس النجاح ببساطة على أساس القدرة على البقاء والتكاثر ، فسيبدو كما لو كانت عملية اختيار تدفع هذا التطور للأمام ، تستبقى الصالح وتنحى الطالح . ولكن ليس لأحد دخل فى عملية الانتقاء . فلا دخل لبشر أو قوة غيبية يد فى مراقبة مجتمع الأشياء واختيار الصالح منه واستبعاد ما لا يصلح . ولا توجد هناك حاجة لهذا التدخل الخارجى ، لأن الأنواع الأفضل فى البقاء والتكاثر ، سوف تختار بطريقة أوتوماتيكية وطبيعية كتناسلات سائدة للأجيال القادمة من الكائنات ، وذلك لأنها الأشياء الأكثر قدرة على البقاء والتكاثر .

والانتقاء الطبيعى ، هو ببساطة البقاء والتكاثر التفاضلى لتلك الأشياء الأفضل فى البقاء والتكاثر . وبصورة آلية وبدون أى تدخل خارجى أو سحر أو شىء غامض ، يسمح لمجتمع الأشياء التى يمكنها أن تولد أشياء أخرى مشابهة ، لكنها عادة مختلفة اختلافا طفيفا ، بأن تستمر فى التطور الى مجتمعات من الكائنات ، أكثر كفاءة فى البقاء والتكاثر .

ماذا لو تغيرت البيئة ؟ فقد ترتفع درجة الحرارة ، وتجعل الأشياء أكثر عرضة للفناء والموت ؛ وقد تتوافر بعض المواد الأولية الجديدة ، أو تندر بعض المواد الأولية التى كانت متوفرة من قبل ، وهلم جرا ... ففى البيئة المتغيرة ، قد تصبح بعض الأشياء التى كانت ناجحة جدا من قبل فجأة فى وضع أسوأ ، بينما قد تجد بعض الأشياء التى كانت عديمة الفاعلية من قبل ، والتى كانت توشك على الانقراض ، فجأة أن البيئة الجديدة تناسبها تماما . فمتطلبات هذا النجاح متغيرة ، وسوف يتكيف المجتمع بصورة آلية مستجيبا لهذا التغير . فالأشياء

التى كانت ناجحة من قبل ، والتى لم تعد تستطيع أن تتكاثر ، تتناقص أعدادها وربما تنقرض . وبعض الأشياء التى كانت من قبل أقل نجاحا الى حد ما ، قد تتكاثر فجأة ؛ ومن خلال المورد المستمر من الأشياء المتغيرة الجديدة ، فستبقى تلك المتغيرات الأفضل فى البقاء والتكاثر فى البيئة الجديدة وتتكاثر وتصبح ممثلة نسبة أكبر من مجتمع الأشياء المتطورة .

وتؤثر التغيرات التى تحدث فى البيئة بشكل مستمر على مجتمع الأشياء ، بينما تؤثر أنشطة الأشياء بشكل مستمر على البيئة . ويوجد تفاعل ديناميكى بين هذا المجتمع والبيئة ، يؤثر كل منهما ويغير الآخر . وهذا هو جوهر التطور بالانتخاب الطبيعى داخل مجتمع الأشياء . والآن يجب أن نتخلى عن فكرتنا المجردة عن الأشياء والتحول الى الأشياء الحقيقية التى تؤثر فى تطور الحياة ؛ وحيدة الخلايا ، ومتعددة الخلايا من النباتات والحيوانات ، التى تعتبر الكائنات الحية لهذا الكوكب . تخبرنا عقيدة البيولوجيا الحديثة أن هذه الكائنات الحية قد نشأت من أجيال سابقة عليها من الكائنات الحية ، من خلال عملية التطور التى يقودها الانتقاء الطبيعى . ويجب أن ندرس بعض التفاصيل البسيطة لامكانية حدوث هذا التطور .

من المؤكد أن بامكان الكائنات الحية تولد كائنات جديدة ، تكون مشابهة لها الى حد كبير ، غير أنها تكون مصحوبة ببعض التغيرات الطفيفة . وهذا ما يحدث فى كل مرة عندما يتكاثر كائن حى ، وهو ما يعتبر مطلبا أساسيا للتطور عن طريق الانتخاب الطبيعى . فالكائنات الحية مشابهة لها ، بفضل قدرة الـ د.ن.أ الحلزونى على القيام بعملية النسخ التى تخلق حلزونين مزدوجين وليدين . ويسمح نسخ الـ د.ن.أ هذا بأن تتولد مجموعة العوامل الوراثية ( الجينيوم ) لأحد الخلايا مجموعات عوامل وراثية تتطلبها خليتان ، والسماح للخلية الأصلية بأن تتضاعف بالانقسام الى خليتين . وفى النهاية ، تسمح لمجموعة العوامل الوراثية لأحد البشر أو الحيوان أو النبات بأن تنتج مجموعات العوامل الوراثية لأجيال جديدة من النسل .

وعلى ذلك ، يعتبر نسخ الـ د.ن.أ ، من العمليات الأساسية التى تسمح للكائنات الحية بأن تولد المزيد من الكائنات الحية ، ولكن اين يدخل التغير الضرورى العملية ؟ سوف تكون مجموعات العوامل الوراثية للكائنات الحية بطريقة ما قادرة على القيام بالتغيرات المطلوبة

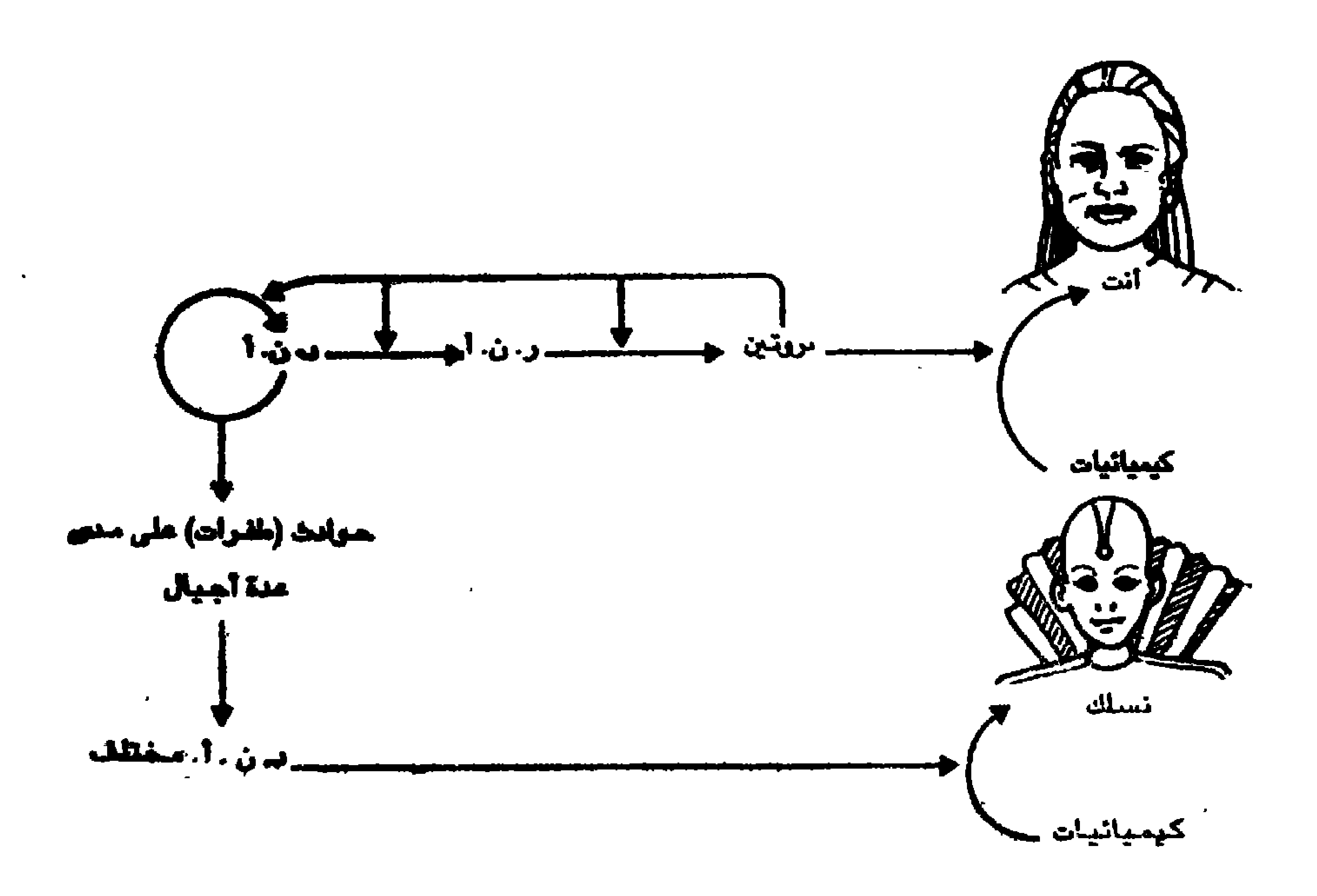
لاحداث التنوع الذى يعزز التطور . فأى تغير فى المادة الوراثية ، والذى يعنى عادة تغيراً فى تركيب الـ د.ن.أ ، يمكن أن يوصف بأنه « طفرة mutation » . وهناك طرق عديدة مختلفة يمكن من خلالها أن تنشأ الطفرات . وتذكر أن مجموعة العوامل الوراثية للكائن الحى ، مندمجة فى التسلسل الذى ترتب به القواعد الأربع خلال د.ن.أ الكائن الحى . فالطفرات تعنى حدوث بعض التغيرات فى ذلك التسلسل القاعدى .

وتتضمن أبسط أنواع الطفرات تغيراً فى قاعدة واحـدة . وقـد يتضمن هذا استبدال القاعدة بأخرى مختلفة ، أو الغاءها من التسلسل القاعدى للـ د.ن.أ ؛ أو قد تضاف قاعدة جديدة . ويمكن أن تتولد الطفرات البسيطة من هذا النوع ، عن طريق تأثير المواد الكيميائيـة على الـ د.ن.أ ، أو عن طريق التعرض للاشعاع ، أو يمكن أن تنشأ من الأخطاء العشوائية التى تتم أثناء نسخ الـ د.ن.أ. فكيمياء الحياة ليست خالية من الخطأ .

والعديد من التغيرات الأخرى التى تنصب على المادة الوراثية ، تقوم بالتحفيز عليها انزيمات عديدة ، ولكن يمكن اعتبار معظمها اخطاء عرضية تحدث نتيجة نشاط الانزيمات القادرة على قطع واعادة غلق حلزونى الـ د.ن.أ ، تسمح مثل هذه الأحداث لقطاعـات كبيرة من الـ د.ن.أ بأن تتضاعف أو تحذف أو تنقلب رأسا على عقب . وأحيانا يمكن أن تصبح بعض قطاعات الـ د.ن.أ طليقة تتجـول بحرية لفترة قبل أن تعود وتندمج فى الـ د.ن.أ الرئيسى فى موقع مختلف . وكل من هذه العمليات تعمل على تغيير المادة الوراثية بصورة طفيفة ، عندمـا يورثها جيل لجيل آخر ، وتجعل تناسل الكائنات الحية يولد مخـلوقات جديدة مشابهة جدا لآبائها ، لكنها مختلفة دائما اختلافا طفيفـا .

وهناك مجال آخر للتنوع يتوفر لمخلوقات مثلنا ، تتكاثر من خـلال الاتحاد الجنسى للـ د.ن.أ من فردين . فعندما تتحد الخلية المنويـة لذكر مع خلية البويضة لأنثى ، فان الـ د.ن.أ من كلا الفردين يتحد

ليخلق مجموعة العوامل الوراثية للبويضة المخصبة التى تنمو وتنقسم لتولد طفلهما . وعلى ذلك ، فنتاج التكاثر الجنسى للكائنات العضوية ، يورث مادة وراثية من أبوين ، ويحدث هذا التوريث بطريقة ما بحيث أن نفس الأبوين يمكن أن ينجبا تنوعا غير محدود تقريبا من الأطفـال المختلفين ، ويتوقف ذلك على أى أجزاء مادتهم الوراثية مـرت الى البويضة المخصبة .




شكل ١٤ ـ ١

الحياة الأساسية والتطور . يصنع الـ د.ن.ا جزىء الـ ر.ن.ا الذى يصنع البروتينات التى تحفز على خلقك والمحافظة عليه ، بالاضافة الى التحفيز على خلق والمحافظة على الـ د.ن.ا ، والـ ر.ن.ا والبروتين الخاص به . وتتولد الأجيال القادمة من نسخ الـ د.ن.ا ، الذى تحفزه البروتينات ، والطفرات المغيرة لـ د.ن.ا ، تعطى د.ن.ا مختلفا ، وهو المطلوب من أجل السماح لصور مختلفة من الحياة بأن تتطور عن طريق الانتخاب الطبيعى .

ولا يتسع المجال هنا للخوض فى تفاصيل كثيرة ( فسوف تجد مزيدا من التفاصيل فى أى كتاب عن أساسات البيولوجيا ) . وبالنسبة لكتابنا هذا ، تعتبر المبادىء الأساسية كافية ، والمبادىء الأساسية وراء تكاثر وتطور الحياة ، هى أن الكائنات الحية يمكن أن تتكاثر بفضل نسخ الى د.ن.أ ، ويمكن أن تتطور مجتمعات الكائنات الحية لأن تركيب الـ د.ن.أ يمكنه أن يتغير لينتج افرادا متنوعة جديدة ، لتوضع فى محك اختبار الانتقاء الطبيعى ( انظر شكل ١٤ — ١ ) . ويعتقد أن الانتقاء الطبيعى هو الآلية التى تسمح للفيزياء والكيمياء بأن تخلق الطبيعة المعقدة للحياة . فالتعليمات الأساسية التى تنشأ من خلالها الكائنات الحية ، تشفر فى تسلسل من قواعد كيميائية ، ممثلة بالأحرف A و T و G و C . والتعديلات التى تطرأ على تركيب الكائنات الحية ، تماثل التغير الذى يحدث فى التسلسل القاعدى للـ د.ن.أ الخاص بها ؛ فاذا خلقت هذه التعديلات كائنات عضوية أفضل فى البقاء والتكاثر من الكائنات الموجودة ، ستتكاثر صور الكائنات الحية الجديدة ؛ واذا خلقت التعديلات كائنات عضوية فقيرة وضعيفة ، فسرعان ما تنقرض .

وتلك هى آليات التطور . والآن دعنا نبحث فى تأثيراتها الرئيسية .

## نشوء الحياة

لا يعرف أحد على وجه التحديد ، كيف أو أين بدات الحياة ، ولا أحد يعرف بالتفصيل كيف تطورت الحياة الى صورتها الحالية . يعتقد معظم البيولوجيون المحدثون أن الحياة قد نشأت على سطح الأرض من مواد كيميائية بسيطة ، تشبه تلك الموجودة فى صميم حياتنا اليومية ، ثم تطورت بعد ذلك تدريجياً من خلال الانتخاب الطبيعى . الا أن معظمهم لم يكن لديه الوقت الكافى لبحث الدلالة وراء وجهة النظر هذه ؛ أنها الشىء الأقرب للثقة العمياء التى قد تجدها فى العلوم الحديثة . ولا أستطيع أن أخوض فى لغز الحياة هنا ، حيث لم يزل الأمر لغزا ، وهذا الكتاب يبحث فيما هو معروف عن الطبيعة . فنحن نعرف أن الحياة وجدت على الأرض ، ونعرف الكثير عن الأمور التى تساعد على استمرار الحياة ، ونحن نثق تماماً فى أن طبيعة الأشياء الحية تتغير بالتدريج من خلال عملية التطور التى يقودها الانتقاء الطبيعى . وأن أية محاولة لاستكمال النقص فى تاريخ أصل وتطور الحياة ، يجب النظر اليها بشىء من الشك ، حيث انها ستتعامل مع أحداث فى أزمنة غائرة فى القدم ، لم يوجد أحد يشاهد عليها . ومع ذلك ، يعتقد البيولوجيون أن

باستطاعتهم الحصول على تفسير دقيق الى حد ما عن السمات الكبرى لتاريخ الحياة . ودعنى الآن أقدم لك رواية سريعة جدا من غير نقد ، وسأتركك لتراجع اى كتاب آخر اذا ما رغبت فى تخمين افضل .

يعتقد معظم الكيميائيين والبيولوجيين أن الحياة قد بدأت منذ أن بدأت المواد الكيميائية تتجمع لتصنع المزيد من أمثالها . وكانت المواد الكيميائية المنتخبة المفضلة من المنتجات الأولى ، هى الأحماض النووية البسيطة المشابهة للـ د.ن.ا والـ ر.ن.ا الموجودة فى حياتنا الحديثة. ويفترض أن هذه الأحماض قد تكونت بصورة تلقائية من « حساء بدائى » فى الكوكب ، وكانت لها القدرة على تحفيز الكيمياء المطلوبة من أجل تكاثرها . ويعتقد بعض الناس أن المواد الكيميائية الأولى القادرة على صنع المزيد من جنسها ، قد لا يوجد لها مثيل فى الأحماض النووية الحديثة ؛ فى حين يتفق معظم الناس على أنه قد ظهرت فى النهاية الأحماض النووية التى استطاعت تشجيع نسخ نفسها ، حتى وان كانت غير موجودة فى البداية .

وظهرت فى احدى المراحل أنواع من هذه الأحماض النووية الأولى ، كانت قادرة على توجيه صورة من صور تصنيع البروتين ؛ وبعد ذلك ، تكونت الخلايا الأولى ، التى يفترض أنها كانت عبارة عن كتلة من الأحماض النووية القليلة والبروتينات المحاطة بغشاء ، وتشجعت على القيام بهذا العمل من خلال المواد الكيميائية الموجودة بداخلها . وكانت تأخذ المواد الأولية المطلوبة لدعم هذه الخلايا من البيئة ، وتستخدم بأقل قدر من التشغيل . حيث لم يكن العديد من الانزيمات الموجودة فى الحياة الحديثة موجودا آنذاك . وكانت جميع التفاعلات الكيميائية التى تدعم الخلايا الأولية مؤهلة لأن تستمر بصورة تلقائية ، أو ربما كانت مقترنة بطرق بسيطة جدا بتفاعلات مؤهلة لذلك . وقد كانت الخلايا مدعمة الى حد بعيد ، بواسطة التفاعلات التى تتم بين المواد الكيميائية عالية الطاقة المجمعة من البيئة ، والتى ساعدت على تكونها طاقة أشعة الشمس ، أو حرارة الأنشطة البركانية أو التحلل الاشعاعى الطبيعى ، أو ربما الطاقة المنبعثة من الشهب عند اصطدامها بسطح الأرض .

ولما استمرت عملية التطور ، أخذت الأحماض الأمينية الموجودة فى داخل الخلية تنمو بصورة أطول وأعقد ، وكانت قادرة على توليد العديد من البروتينات بدقة آخذة فى التزايد . وأخذت حصيلة البروتينات فى التحسن ، من خلال تطور الجينات التى تشفر عنها ، وفى وجود حافزات

عملية الكفاءة ـ وقد أصبحت قادرة على الاستفادة من المواد الأولية الموجودة فى البيئة بطرق متزايدة فى التعقد ، تسمح على سبيل المثال للطاقة الموجودة بداخل المواد الكيميائية فى البيئة بأن تتجمع وتختزن فى صور مواد كيميائية عديدة عالية الطاقة داخل الخلية ، الى أن أصبحت كيمياء الخلية تحتاج الى الطاقة .

وفى النهاية ، ظهرت بعض الخلايا ، التى سمحت لهـا بروتيناتها وأغشيتها وعمليات التمثيل الغذائى بأن تجمع قدرا من طاقة ضوء الشمس بصورة مباشرة وتستخدمها فى تصنيع المواد الكيميائية عالية الطاقة ، مثل المواد الكربوهيدراتية ، ومن ثم اتجهت نحو كل التفاعلات المتطلبة للطاقة فى الخلية ــ فقد بدأت عملية التمثيل الضوئى .

وقد حدث واحد من أهم التطورات التى شهدتها الحياة على الأرض ، عندما بدأت بعض الخلايا الأولية البسيطة فى العيش داخل خلايا اخرى . بعد ذلك ، تطورت بعض من هذه الخلايا المتطفلة الى جسيمات عضوية ، كالفتائل الخيطية ، أو الميتوكوندريا mitochondria (١)والجديلات اليخضورية chloroplasts (٢) ، الخ من تلك الموجود لها مثل فى حياتنا اليومية .

وقد بدأت مرحلة هامة جدا اخرى ، عندما أخذت الخلايا تتفاعل مع بعضها البعض ، قبل البدء فى تكوين ذرية ، بدلا من انقسام الخلايا ببساطة الى اثنين . وعندما اقترنت الخلايا ببعضها قبل التكاثر ، أصبحت قادرة على توليد نسل يحتوى على مادة وراثية مشتقة من كلا الأبوين ، وبذلك بدأت عملية التكاثر الجنسى .

وبعد فترة من الزمن من بداية الجنس ، وربما يرجع الفضل فى ذلك الى الاحتمالات المتزايدة للتنوع والتطور ، الذى كان الجنس سببا فى ظهورها ، بدأت الخلايا فى العيش بصورة دائمة مرتبطة ببعضها البعض فى صورة كائنات حية أولية بسيطة متعددة الخلايا . واكتشفت الخلايا التى كانت من قبل تعيش معيشة فردية مستقلة ، مميزات الحياة الجماعية .

ويكشف سجل الحفريات كيف تنوعت وازدهرت الحياة متعددة الخلايا بصورة سريعة . وفى هذا التطور بدأت عملية متزايدة « لتقسيم

العمل » بين الخلايا المختلفة ؛ فتخصصت بعضها فى جمع الغذاء ، والأخرى فى اعطاء الكائن الحى القدرة على الحركة ، وغيرها فى الدفاع ضد الكائنات العضوية الأخرى ، وهكذا ..

وسرعان ما اصبحت المخلوقات متعددة الخلايا قادرة على تطوير انسجة واعضاء متميزة ، متخصصة من أجل مصلحة الكائن العضوى بصفة عامة . كما بدأت فى تطوير تجويف جسدى متميز ( البطن ) ، الذى يحتوى على العديد من الأعضاء . وبدأت هذه الخلايا فى تطوبر هياكل خارجية صلبة أو هياكل داخلية وأعصاب وعضلات ، ساعدتها على السباحة فى الماء ثم الزحف على اليابسة . فقد كان الانتقال من مكان لآخر قاصرا على الحيوانات ، والذى جعلها تتجول باحثة عن غذائها من الحيوانات الأخرى او النباتات . الا أن النباتات قد عاشت ، لأنها تعلمت حيلة التمثيل الضوئى البارعة ، والتى ضمنت أن الحيوانات لا تستطيع الاستمرار فى العيش بدونها .

وقد انقضت عدة بلايين من السنين على التطور الذى قاده الانتخاب الطبيعى من أجل خلق مخلوقات عالمنا المعاصر ؛ وسوف تستمر العملية الارتقائية لكى تشكل صورة الكائنات الحية فى المستقبل . وقد أمدت حتى الآن العالم بتنوع مدهش من الصور المعقدة من الحياة ، وبرغم ذلك ، فانها تعتمد فى تصميمها على القدرة البسيطة للأشياء بأن تصنع أشياء أخرى شبيهة بها لكنها تختلف عنها اختلافا طفيفا .

**ولكن ما هى الحياة ؟**

فى هذا الفصل والفصل السابق ، قد استخدمت مصطلح « الحياة » ، على فرض أن كل انسان يعرف ويتفق على ما تعنيه الكلمة . ويعتبر هذا فرضا معقولا ، فكل ما نتطلبه هو بعض الفهم العام لما يقصد بالحى وما يقصد بالميت ؛ لكن الحياة هى جزء مهم من الطبيعة ، لدرجة أن تعريفها يجب أن يكون محددا تحديدا قاطعا يمنع اللبس . ولكن المشكلة أن الحياة تتأبى على التعريف القاطع ، على الأقل بالطريقة التى ترضى التصور البديهى للانسان بما تعنيه الحياة . ومن ثم فليس فى استطاعتى أن أجيب عن السؤال الموضوع على رأس هذه الفقرة ، لكنه من المهم أن نوجز المسألة بصورة مختصرة .

يشعر معظم غير العلماء أنه يجب أن يوجد تمييز واضح بين العالم الحي والعالم غير الحي ، لأن الاختلاف واضح بين الأشياء التي تتحدد

على أنها حية والتى تؤخذ على أنها غير حية . وقليل من الناس مـن يقول بأن الصخر كائن حي ، بينما يستطيع أن يتفق كل انسان على أنهم هم أنفسهم وقططهم الأليفة وحتى البرغوث الموجود على قططهم الأليفة، من المؤكد أن جميعها حية . غير ان هذا الوضوح ، قد نشأ من فحص الطرفين المتقابلين من الطبيعة . فكما أنه من الواضح ان السهل أرض منخفضة ، وقمة الجبل أرض مرتفعة ، فبنفس الوضوح يعتبر الصخر ليس حيا ، واننا أحياء . ولكن عندما نتجه من السهل الى قمة الجبل ، فأين تنتهى الأرض المنخفضة ، لتبدأ الأرض المرتفعة ؟ معظم الناس يسعدهم أن يقرروا ان هذا سؤال سخيف لا جدوى منه ، فليست لديهم مشكلة فى قبول أن الارتفاع والانخفاض هى مصطلحات نسبية غـير قاطعة ، حيث لا توجد نقطة محددة ، يفسح عندها أحـدهما المجـال للآخر . وبالمثل ، فان مصطلح الحياة غير دقيق . وحقيقة أن يجـد العديد من الناس صعوبة فى قبول هـذا ، يوحى بأنهم يمانعـون فى الاعتراف « بأخوة » تجمعهم بالصخور والطين والأحجـار ، كرفـاق تجمعات من مادة صنع منها الكون .

وكل هذا لا يوحى بأنه لا يوجد تعريف قاطع يمكن أن يعطى لمصطلح الحياة ، فهناك تعريف مناسب تماما ، كما سترى ، ولكن لسوء الحظ ، فانه يخلع لقب « الكائنات الحية » المشرف على ما ينظر اليه معظم الناس بالبديهة نظرة استعلاء ، على اعتبار أنها مجرد « مواد كيميائية» . فكل المخلوقات التى يقرها كل انسان على أنها حية دون سؤال ، يعتقد أنها مشتقة من كائنات حية أبسط منها ، أو حتى « أشياء » أبسط عن طريق عملية التطور . فالقدرة على التطور بالانتخاب الطبيعى ، هى التى سمحت للأشياء البسيطة بأن توجد الأشياء الحية المعقدة جدا التى نراها فى عالمنا اليوم . وعلى ذلك ، فالتعريف الواحد البسيط للكائنات الحية التى يكون لها أية معنى ، هو القول بأن الكائنات الحية هى تلك الكائنات التى لها القدرة على التطور من خلال الانتخـاب الطبيعى . وليس هذا التعريف هو الوحيد الذى تدمه العلم الحديث ، ولكنه الذى يعترف به على نحو متزايد بأنه الأفضل . وبكل اسى ، فهو يعنى ان بركة من الصخر الساخن فى الأرض البدائية ، تحتوى على جزيئات من الحمض النووى ، قادرة على صنع الكثير من نفسها ، بفضل عمليـة الازدواج القاعدى المتتامة ، يمكن ان توصف بأنها تحتوى على حياة . والاستجابة البديهية والطبيعية لهذا التأكيد ، هى أن يهز أحد راسـه ويقرر أن تعريفنا عن الحياة يجب أن يكون تعريفا خاطئا ، حيث لا تحتوى بركة الصخر بوضوح الا على مواد كيميائية تشارك بطريقة عمياء فى

التفاعلات الكيميائية ، المشتقة فقط من القانون الفيزيائى ، وهنا توجد عقبة : ان أى تعريف للحياة ، يبدو أنه سينقص من مكانتها ، وبالتالى مكانتنا ، من كائنات نبيلة تفكر بحرية الى مجرد مواد كيميائية متفاعلة وفاعلة . وهناك حلان لهذه المعضلة : أما أن نقر بأننا مجرد ابداعات من تفاعلات كيميائية ؛ واما أن نبحث عن ملجأ فى غموض ميتافيـــزيقى يختفى عن عيننا الفاحصة . خذ اختيارك ، أو اختر الجلوس محتارا على قارعة الطريق ( مثلما أفعل أنا ) ؛ ولكن على الأقل ، تقبل أن الحياة هى مصطلح غامض وغير دقيق وذو نفعية محدودة .

وفكرة واحدة أخيرة عن السؤال عما هى الحياة بالضبط ؟ . فكر فى الاجابة « وما أهمية ذلك » ؟ فالأشياء التى نختار تسميتها أشياء حية ، سواء أكانت نجوما أو صخورا أو نباتات أو بشرا أو أى شىء آخر ، من الواضح أنها جميعها موجودة ، وتتغير ، وتتفـــاعل . ان التغير والتفاعل البينى هو الذى يهم ، وليست الطرق التى نختارهـــا لوصفها وتصنيفها ، والتى يمكن أن تتغير كلما تطورت معارفنا عن الكون.

الفصل الخامس عشر

# المـــخ

## BRAIN

---

كل واحد منا هو عقل واع . فنحن ندرك أننا موجودون ، ويمكننا أن نسترجع ذكريات الماضى ، ونتصور آمالا ومخاوف من المستقبل ، ونفكر أفكارا مجردة ؛ ومع ذلك فلا يعرف أحد حقيقة هذا النشاط العقلى أو كيف نشأ . فأيما كانت طبيعته فهو يعتمد على المخ . فقد تجرح احدى أقدامنا أو احدى ساقينا أو نستغنى عن احدى رئتينا أو حتى يستبدل قلبنا بقلب صناعى جديد ، وسوف لا يؤثر أى من هذا ولا ذاك تأثيرا مباشرا على عقلنا ؛ فى حين أن اصابة المخ يمكن أن تغير بشكل مباشر من أفكارنا وذكرياتنا وطبيعتنا الذاتية التى نحن عليها . ويبدو من المؤكد أن العقل الذى هو كل ما نحن عليه بالفعل قد نشأ من المخ ، أو يعتمد على الأقل جداً عليه ، من أجـــل وجوده ونشاطه . ويسعـــد بعض الناس تبسيط الأشياء عن طريق ابطال مفهوم العقل ويعلنون بأن كل واحد منا هو مخ واع — كتلة من كيمياء متكاملة تدرك بطريقة ما وجودها. ويشعر البعض الآخر بثقة أن العقل هو شىء أسمى وأكثر تميزا عن المخ — ربما يكون جزءا من المجالات الروحانية الغامضة فى الكون التى لا يعرف العلم شيئا عنها . ومع ذلك ، أيا ما كان الموقف العقلى الذى يتخذه المرء ، فسوف يصل دائما الى نفس النتيجة : نحن لا نعرف شيئا جوهرياً عن الطريقة التى يسمح بها تركيب المخ وأنشطته بأن يـــدرك وجوده وأن يفكر .

وبطبيعة الحال ، لا يعنى هذا أننا لا نعرف شيئا عما يجرى بداخل المخ . فهناك قدر كبير من المعلومات معروفة عن خلايا المخ وخاصـــة خلاياه العصبية ، والأحداث التي تجري بداخلها وتصاحب عمل العقل .

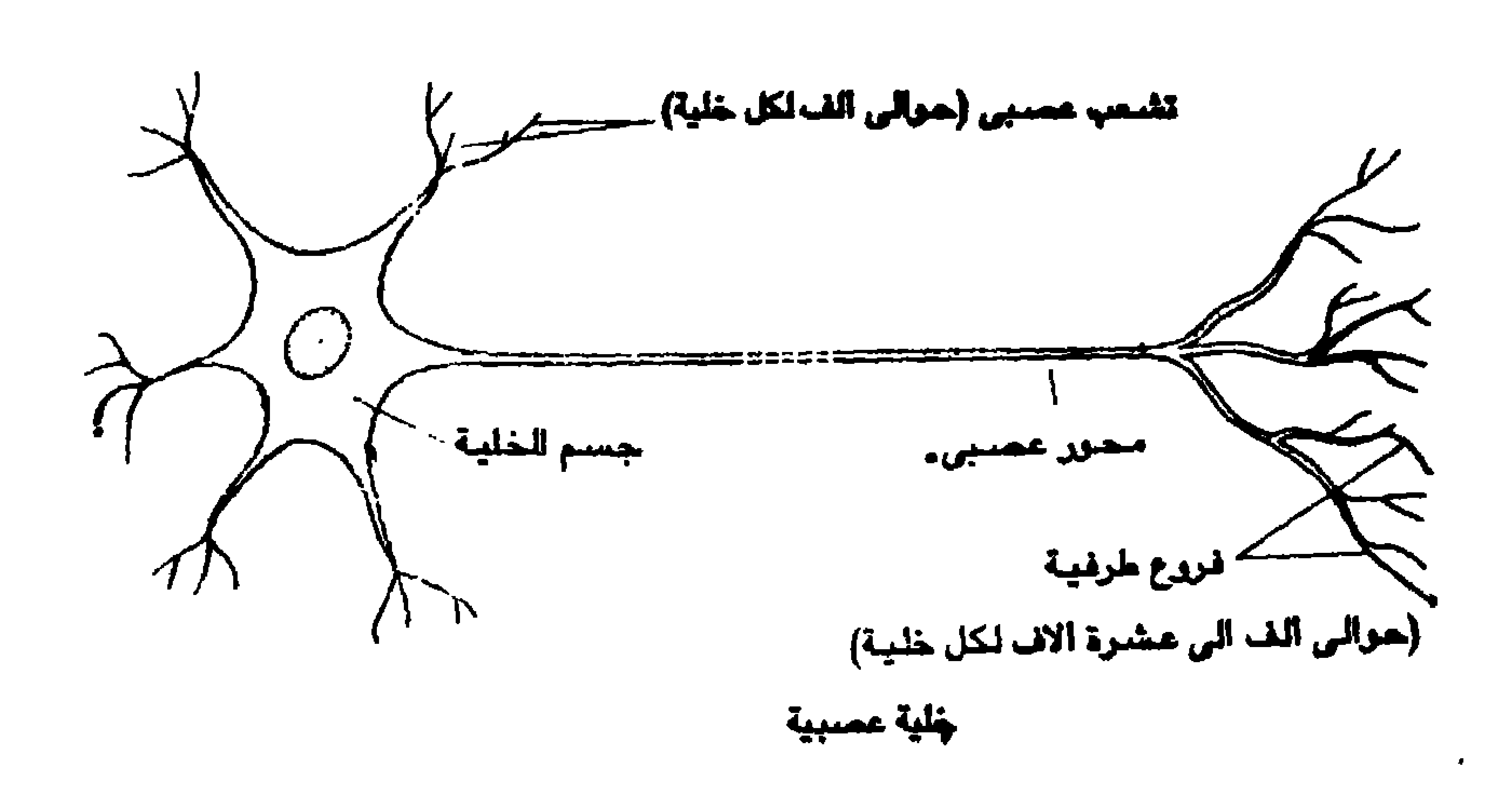
ومع ذلك فما نعرفه هو تفاصيل تنقصها معرفة شاملة . فنحن كمن يستطيع رؤية أعداد كبيرة من المصابيح التى تومض على شاشة تحكم ماكينة معقدة ، ويستطيع حتى أن يسبر غور ما بداخل الماكينة لدراسة أسلاكها ودوائرها الكهربية ، ولكنه لا يستطيع تكوين فكرة حقيقية عن كيف تؤدى هذه الأنشطة إلى أن تقوم الماكينة بتنفيذ مهمتها على الوجه الصحيح .

ومن خلال هذا التحذير ، سنقوم بالقاء نظرة سريعة داخل ماكينة المخ لنفحص الخلايا العصبية التى يعتقد أنها أكثر عناصره حيوية . يحتوى المخ على كثير من الخلايا العصبية . ويحتوى أيضا على العديد من أنواع الخلايا الأخرى ، لكنه يعتقد أن هذه الخلايا الأخرى تلعب أدواراً مدعمة لمساعدة الخلايا العصبية التى تهمنا فى المقام الأول . ويبدو أن ما تقوم به الخلايا ، هو الاتصال ببعضها البعض وتؤثر فى أنشطة بعضها البعض ، من خلال مرور موجات من النشاط الكيميائى فيها وبينها . وتعرف الاشارات الشبيهة بالموجة بـ « النبضات العصبية » ، ويبدو المخ وكأنه ماكينة تكرس كل جهدها لتوليد وتوحيد السيطرة على النبضات العصبية . فالأنماط المتغيرة من النبضات العصبية تجىء وتذهب داخل تركيب المخ ، ونتيجة لذلك ، ينشأ بطريقة ما وعى من تلك الأنماط ؛ وهذا الوعى يرى ويسمع ويشم ويشعر ويفكر ويتذكر ويخطط من أجل المستقبل . وهذا ، على الأقل ، هو التخمين الأفضل للعلم الحديث عن الصلة بين النشاط العصبى والعقل .

تتنوع الخلايا العصبية الى حد كبير فى أشكالها وتركيبها ، لكن لها « جسم خلية » رئيسى ، وعديد من امتدادات عنكبوتية من جسم الخلية تعرف بـ « التشعبات العصبية dendrites » وطرف طويل يعرف بـ « المحور العصبى exon » ، يتشعب بعد ذلك الى امتدادات عنكبوتية أخرى تعرف بـ «الفروع الطرفية terminal branches » للمحور العصبى (انظر شكل ١٥ — ١). والتشعبات العصبية هى الأجزاء الرئيسية للخلية ، التى تستقبل الاشارات الكيميائية من الخلايا الأخرى، فى حين أن الفروع الطرفية ، هى الأجزاء التى تمرر الاشارات الى الخلايا الأخرى . وتعتبر أية خلية عصبية مستقبلا ومعالجاً وناقلا للاشارات الكيميائية .

وتنتج الاشارات العصبية عن طريق الحركة المحكمة والمدعمة للأيونات خلال غشاء الخلية العصبى ، مسببة تغيرات فى توزيع الشحنة الكهربية بين ما بداخل وخارج الخلية . والمواد الكيميائية التى تتحكم فى

حركة الأيونات خلال الغشاء ، هى بروتينات معينة ؛ ويجب أن ندرس خمسة أنواع من البروتينات ، لكى نكتسب فهما عاما عن كيفية عمل الخلايا العصبية .




شكل ١٥ ــ ١

خلية عصبية

ويسمى أحد أنواع البروتينات بمضخة الصوديوم / البوتاسيوم ، (Na + /K + pump) ، لأنها تتحكم فى تدفق أيونات الصوديوم ( Na+ ) وأيونات البوتاسيوم ( K+ ) خلال الغشاء . وتوجد جزيئات هذا البروتين مندمجة فى غشاء الخلية العصبية ، حيث يمكنها الارتباط بأيونات الصودوم داخل الخلية ونقلها للخارج ، بينما ترتبط أيضا بأيونات البوتاسيوم

خارج الخلية وتنقلها لداخل الخلية . وعلى ذلك ، بشكل اجمالى ، فان هذه المضخة تقوم بضخ أيونات الصوديوم الى خارج الخلية وأيونـــات البوتاسيوم الى داخلها ( انظر شكل ١٥ ـ ٢ أ ) .

وهناك بروتين آخر مندمج فى أغشية الخلايا العصبية ، ويعـــرف بقناة تسريب أيونات البوتاسيوم (K + leak channel) ، الذى يسمح لبعض أيونات البوتاسيوم بالتسرب خارج الخلية ، بطريقـة أسرع من السماح لأيونات الصوديوم بالتسرب للداخل . وعلى ذلك ، فالنتيجة النهائية لنشاط كل من هذين البروتينين ، هو تكوين طبقة من المحلول خارج غشاء الخلية موجبة الشحنة ، بالنسبة لطبقة العصارة الخلوية الموجودة بداخل الخلية ؛ وذلك أساسا لأن قناة تسريب البوتاسيوم تجعل أيوناته تتسرب للخارج دون السماح بعدد مساو من أيونات الصوديوم بأن تتسرب للداخل . وتمتلك أغشية كل الخلايا هذه الشحنة غير المتزنة ، التى تكون موجبة الشحنة قليلا بالخارج وسالبة الشحنة نسبيا بالداخل (١) ، وتستغل أغشية الخلايا العصبية هذه الخاصية استغلالا خاصا .

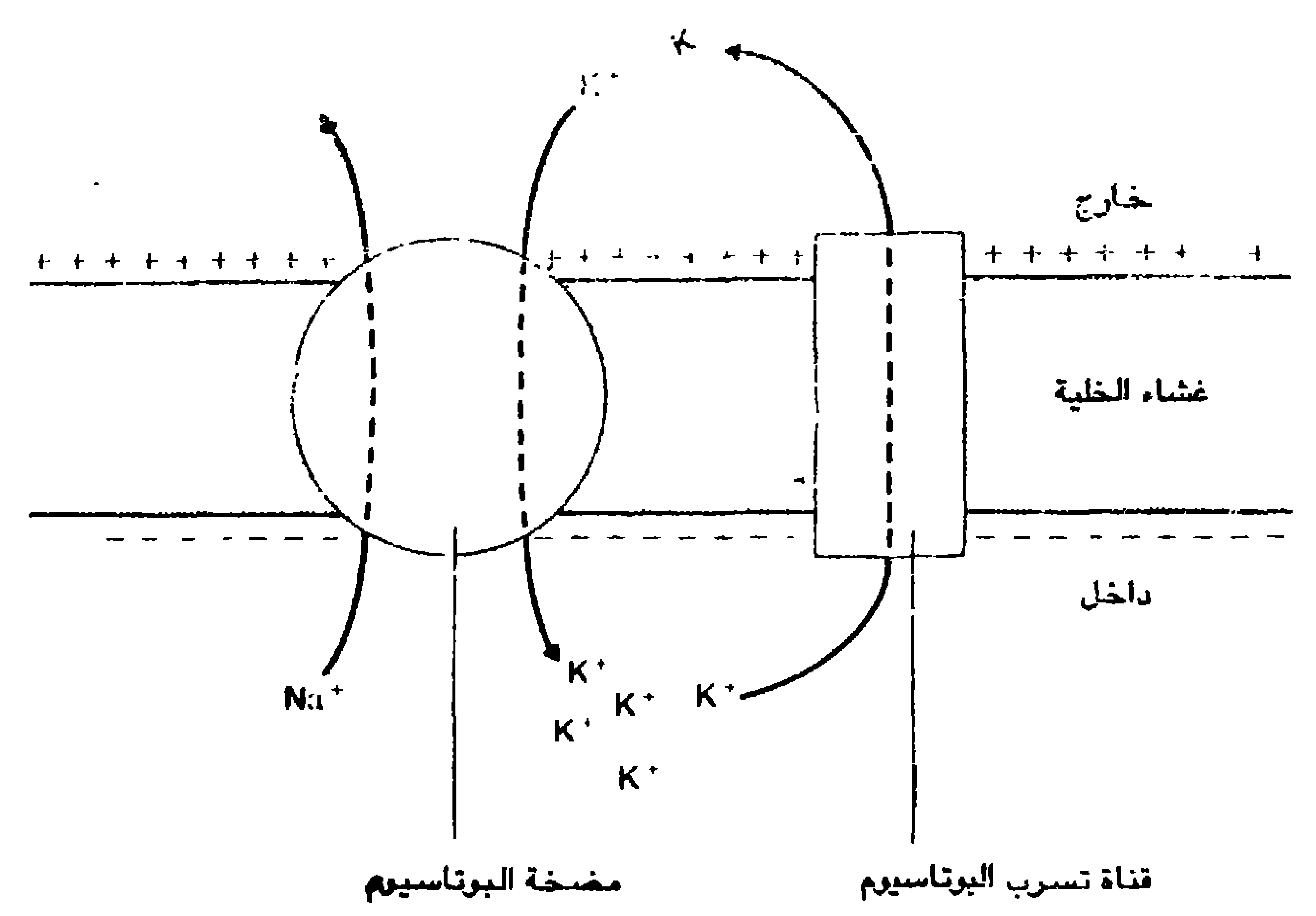
وتبدأ النبضة العصبية عندما تفرز مادة كيميائية تعرف بالناقـــل العصبى Neurotansmitter (والتى يوجد منها أنواع عديدة مختلفة) من احدى الخلايا العصبية لترتبط بالبروتينات «المستقبلة Receptor Proteins» المندمجة فى غشـــاء خليـــة عصبية أخرى ( انظر شكل ١٥ ـــ ٢ ب ) . وكنتيجة لارتباط الناقل العصبى بالمستقبل ، فـــإن البروتين المستقبـــل يخضع لتغير فى تركيبه ، بحيث يسمح لأيونات معينة ( غالبا الصوديوم) بالمرور خلاله . ويترتب على دخول تلك الأيونات الموجبة أن تتعادل مع الشحنة السالبة الموجودة داخل غشاء الخلية .

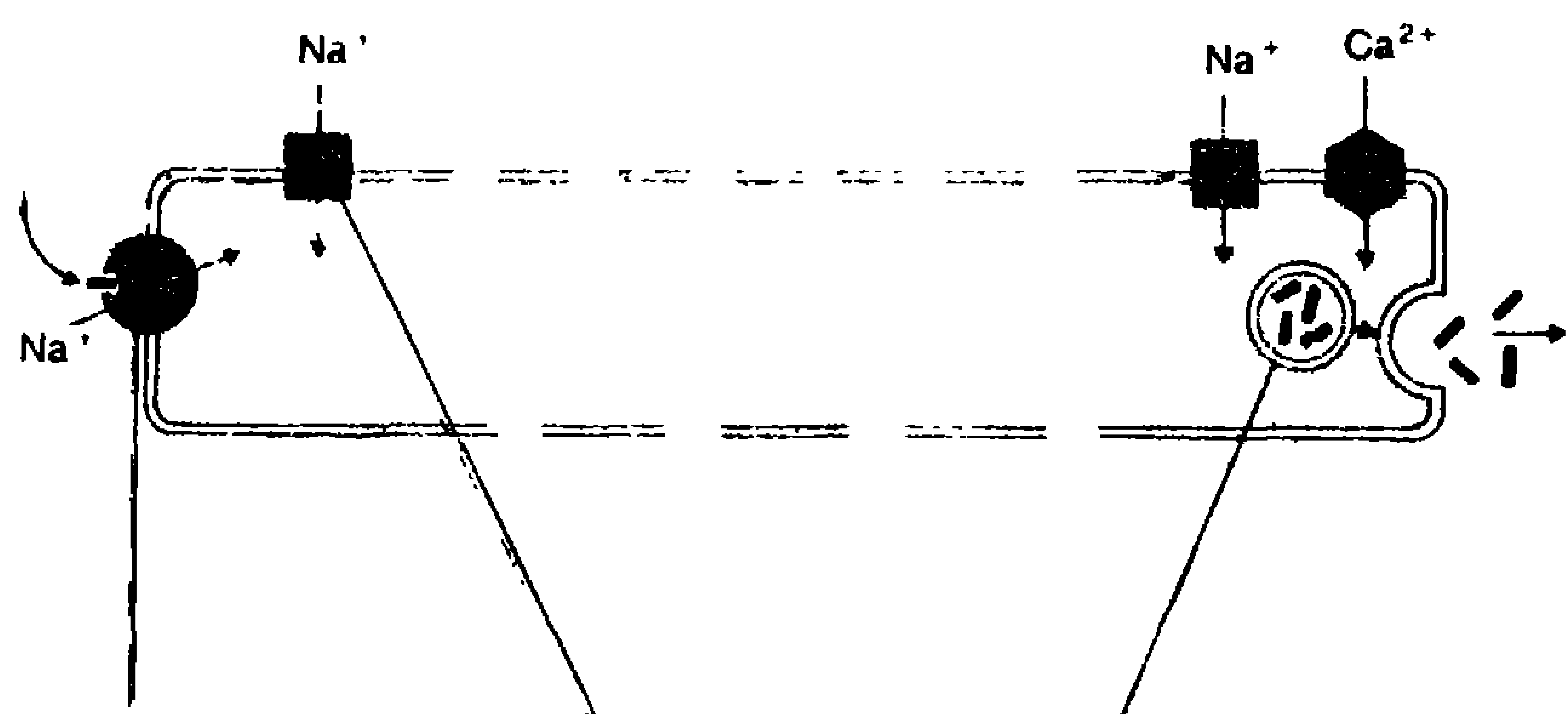
وهناك جزيئات بروتينية أخرى مندمجة فى اغشية الخلية العصبية، تعتبر حساسة لمثل لهذا التغير فى توزيع الشحنات . واستجابة للفقد فى عدم توازن الشحنة ، تكابد هذه البروتينات الأخرى تغيراً شكليا ، ينجم عنه فتح ثقب صغير لأيونات جديدة من الصوديوم لكى تمر خلاله لفترة وجيزة ، ثم يغلق مرة أخرى بسرعـــة . وأثناء فتح هـــذا البروتين ، تنساب أيونات الصوديوم الجديدة بدرجة معينة تكفى لعـــكس عـــدم اتزان الشحنة الطبيعى فى المنطقة المحيطة بالغشاء ، وتجعل ما بداخل الخلية فى هذه المنطقة مشحوناً بشحنة موجبة بدرجة أكبر من الشحنة السالبة بالنسبة لخارج الخلية . وتترصع جزيئيات هذا البروتين الرابع على فترات منتظمـــة على غشـــاء الخلية العصـــبية ، بحيث أن التأثير

السريع لفتح احدها ، يجعل الجزيئات المجاورة له تفتح ، عند استجابتها لفقد عدم الاتزان الطبيعى للشحنة الذى حدث نتيجة فتح الجزىء المجاور لها . ذلك ، فان ارتباط ناقل عصبى مع بروتين مستقبل فى خلية عصبية، هو بدء نبضة تغير كهروكيميائى ، التى تنتقل بسرعة على طول الخلية العصبية . والتأثير الرئيسى لهذا التغير يكون لصالح سيل دافق من عدم اتزان شحنة فى الاتجاه المعاكس ( تقنيا ، انعكاس القطبية ) ينتشر على طول الغشاء . وهذه الموجة من عدم اتزان الشحنة المعكوسة المندفعة على طول غشاء خلية عصبية ، هى الاشارة الكهروكيميائية التى نسميها بنبضة عصبية .

وفى الواقع ، تنتشر النبضة العصبية على هيئة « نبضة » من قطبية منعكسة ومركزة فى منطقة محددة تسرى عبر غشاء الخلية ، أما خلف هذه المنطقة فان القطبية تعود لسابق عهدها ، من جهة لأن البروتين الناقل ينتهى عمله بمجرد قدح النبضة وانتشارها ، فينفصل عن المستقبل ، ومن جهة أخرى لأن اغلاق بوابة الصوديوم فى المنطقة سيعطى الفرصة للبروتينين : لمضخة الصوديوم والكالسيوم ، ولقناة تسريب البوتاسيوم لاعادة الوضع كما كان عليه .

وهذا عرض عام موجز بقدر الامكان لماهية النبضة العصبية ،وكيف تخلق ؛ ولكن كيف يؤدى مرور نبضة على طول احدى الخلايا الى قدح نبضة فى خلية أخرى متصلة بها ؟ عندما تصل نبضة عصبية الى فرع طرفى لها ، فانها تقابل نوعا آخر من البروتين المندمج فى الغشاء . وهذا البروتين يسمح بمجرد وصول النبضة له لأيونات من الكالسيوم (Ca 2) بالدخول الى الخلية . وتغير أيونات الكالسيوم هذه من كيميائية « أكياس » دقيقة مرتبطة بأغشية ( والتى تسمى تقنيا ، حويصلات ) ، موجودة بداخل نهاية الخلايا العصبية ، تحتوى على كثير من جزيئات البروتين الناقل . ويحث هذا التغيير أغشية الحويصلات لتندمج مع غشاء الخلية بطريقة تسمح للجزيئات الناقلة العصبية بأن تنطلق فى فراغ بين الخلايا العصبية المتصلة ، التى تعرف بـ « المشبك Synapse » بين الخلايا . وتنتشر الناقلات العصبية خلال المشبك ، وترتبط بالبروتينات المستقبلة المندمجة بغشاء الخلية العصبية على الجانب الآخر للمشبك ، وبذلك تحث على نبضة عصبية لتنتقل خلال الخلية العصبية التالية . وهكذا يمكن أن يحث نقل النبضات على طول احدى الخلايا على نقل النبضات على طول جميع الخلايا الأخرى المتصلة بها هذه الخلية العصبية .




حينما تصل النبضة العصبية إلى الفروع الطرفية فإنها تحفز بروتينات الغشاء على السماح لأيونات الكالسيوم بالدخول فى الخلية، وهذه بدورها تحفز الأوعية الحاوية على جزيئات المرسلات العصبية على إطلاقها لترتبط بالأغشية التالية

نتيجة لإزالة استقطاب الغشاء، تسمح بروتينات القناة لأيونات الصوديوم الموجبة بالمرور عبرها، مما يؤدى إلى: عكس القطبية فى المنطقة المجاورة، ويؤدى عكس القطبية فى منطقة ما إلى فتح قناة الصوديوم فى المنطقة المجاورة، مما يؤدى إلى انتشار موجه من عكس القطبية فى غشاء الخلية

جزيئات المرسل العصبي ترتبط بالبروتونات المستقلة جاعلة هذه البروتونات تسمح بالايونات الموجبة أن تسري إلي داخل الخلية وتمحو استقطاب الغشاء في المنطقة المجاورة

**شكل ١٥ ـ ٣**

**ملخص لاهم سمات خلق ونقل نبضة عصبية**

وما ذكرناه هنا يعطى فكرة عن جوهر النشاط العصبى ، ولكن كما قد تتوقع ، فهناك الكثير من الملابسات والتعقيدات . فمعظم الخلايا العصبية الفردية تتلقى اشارات من العديد من الخلايا العصبية الأخرى فى نفس الوقت ؛ وهى أيضا تمر اشارات عبر ناقلات عصبية الى عديد من خلايا عصبية أخرى . وهناك الكثير من أنواع الناقلات العصبية المختلفة ، وبينما يؤدى البعض منها الى قدح النبضة بالطريقة التى ذكرناها سابقا ، فالبعض الآخر قد يؤدى الى كبحها . وعلى ذلك ففى حقيقة الأمر ، تعمل الخلية العصبية مثل ماكينة اقتراع كيميائية دقيقة . وقرارها هو القدح ، أو منع القدح ، أو القدح غالبا أو نادرا ، ويعتمد نتيجة ذلك « التصويت » الكيميائى على أصوات العديد من الاشارات المتصارعة أحيانا التى تستقبلها من الخلايا الأخرى . وبالنسبة لمعظم الخلايا العصبية ، فمن المحتمل أن يكون معدل القدح هو الناقل الحقيقى المعلومات العصبية ، وليس نبضة بعينها . وهناك تعقيدات وملابسات وخفايا عديدة الى حد بعيد جدا يصعب الكشف عنها فى كتاب كهذا ؛ لكنه من المهم أن نقرر أنها جميعا تتضمن تأثيرات كيميائية ليس الا ، مشابهة لمعظم التأثيرات الحيوية التى ذكرناها سابقا ، وجميعها قابلة للشرح والتفسير على أساس التفاعلات البيئية والتفاعلات بين المواد الكيميائية أثناء انتقالها واصطدامها مع بعضها البعض وتدافعها وتجاذبها بواسطة القوة الكهربية وميل الطاقة للانتشار نحو توزيع أكثر استواء .

وعلى ذلك ، فحتى عندما ندرس أكثر الأشياء تعقيدا والمعروفة لنا — أمخاخنا الحية — فكل ما نجده هو كيمياء تعززها الفيزياء ، وتتكامل فى صورة شبكات متفاعلة من المواد الكيميائية ، التى نصنفها كنظم بيولوجية . ولا يعنى هذا أن أسرارا أعمق لا تنتظر الاكتشاف ، أو ربما ستظل محجوبة للأبد عنا . وكما قلت ، فمن المؤكد ان العلم لا يستطيع أن يقدم تفسيراً مرضياً ، أو حتى وصفاً عن نشأة العقول الواعية من خلال الظواهر الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية التى نجدها داخل المخ . فكل ما وجد بالمخ ، لا يعدو أن يكون شبكة معقدة جدا من الخلايا العصبية المتصلة ببعضها البعض ، التى تمرر النبضات العصبية على طولها ، وتمرر عدداً متنوعاً من الاشارات الكيميائية الى الخلايا العصبية الأخرى ، التى تشجع أو تمنع أو تغير بطريقة أخرى النبضات التى تمر بطول هذه الخلايا العصبية الأخرى ، والفرض العام للمؤسسة العلمية ، هو أن الوعى بكل احساساته العقلية وأفكاره وتفكيره ، هو ما يحدث ( بطريقة ما ! ) داخل أى مخ عندما تقوم شبكته العصبية بأنماط

محددة ومن غير شك معقدة جدا من القدح . ويظل هذا الفرض بدون اثبات ، وربما يكون فرضا خاطئا .

عندما « نتذكر » شيئا ما ، يفترض أن مخنا يولد نمطا من نشاط عصبى ، يشابه بطريقة قاطعة النمط الذى احدثته تجربتنا الأولى عن الشىء الذى نتذكره . وتعتمد معظم نظريات الذاكرة على الآليات الجزيئية ، التى قد تسمح باستعادة نمط النشاط العصبى ، أو نمط مشابه . وعلى ذلك ، فالشىء الذى حدث ذات مرة فى أمخاخنا ، سيكون احتماله أكثر حدوثا مرة أخرى عن شىء لم يحدث من قبل ؛ ويمكننا أن نشجع بطريقة ما على تكرار القيام بالنشاط العصبى السابق ، لكى يظهر فى رؤوسنا عندما نستدعيه .

والنظريات التى تبحث فى نشأة النشاط العقلى والذاكرة كثيرة ، وسوف تساعدك بعض الكتب المخصصة على استكشاف هذه النظريات، اذا كانت لديك الرغبة فى ذلك ، الا أن الحقائق نادرة . فلا يوجد شىء عن التفاصيل الخفية لعقولنا وأفكارنا التى تهبط بها الى مستوى العمليات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية .

واحدى السمات المهمة لعقولنا التى لم يستطع العلم حتى الآن أن يساعدنا فيها ، تتعلق بالارادة الحرة ، التى يعتقد معظمنا أنه يمتلكها ؛ الحرية فى تقرير عمل هذا الشىء أو ذاك ، أو فى التفكير فى هذا الشىء أو ذاك ، دون أن تملى علينا الكيمياء فقط ما يجب أن نقوم به . وربما السؤال الأكثر أهمية الذى يواجه البشرية ، هو ذلك السؤال الذى يسأل عما اذا كانت ارادتنا الحرة حقيقية أم وهما ، ولكن للأسف فهذا السؤال لم يجد أحداً يستطيع الاجابة عنه . وحين كانت الحتمية الشمولية هى المسيطرة على العلم ، بدت آمال الارادة الحرة قاتمة بالفعل ، الا اذا اشتملت على بعض الظواهر اللافيزيائية والروحانية ، التى تحررت من الفيزياء الحتمية . وكان لظهور ميكانيكا الكم ومبدؤها عدم اليقين أثر فى احياء الأمل للعديد من المؤمنين بالارادة الحرة ، بافتراض أنها تركت مجالا للعقل لاختيار احتمال من سلسلة من احتمالات ميكانيكا الكم باحدى الطرق الغامضة . ومرة أخرى ، فالنظريات كثيرة، لكنها لم تبد بعد مقنعة ، ولن يكون من المناسب التعمق فى بعض المسائل هنا . وقد تأتى الفيزياء والكيمياء والبيولوجيا جميعها سويا فى النهاية لتقدم لنا أفكاراً عميقة عن كيفية توليد أمخاخنا لعقولنا الواعية ، لكنه من المستبعد تماما أن تقوم بهذا فى الوقت الراهن . وفى استعراض لمعظم معارفنا الأساسية عن الطبيعة ، فمن المناسب أن نصف العقل بأنه غرفة الطبيعة الداخلية المختفية ، لم تستكشف أسرارها بعد .

الفصل السادس عشر

# أشياء غامضة

## MYSTERIES

---

لقد اعتدنا على أن نعجب بانجازات العلم ، والفهم المتعمق والقدرة على استغلال العالم الطبيعى الذى جاءت به الطريقة العلمية للبحث والاستنتاج . وقد عرض هذا الكتاب وجهة نظر شاملة لأساسيات الطبيعة التى كشف عنها العلم ، واقتراح بمراجعة الكتب الأكثر تفصيلا لتكوين فكرة واضحة عن الطبيعة وموقفنا الحرج منها . ومع ذلك ، وبرغم اعجابنا بانجازات العلم ، الا أنه من السهل أن يغيب عن أعيننا الكثير من الأسئلة التى لا تزال غامضة ؛ والتى غالبا ما نتوق للاجابة عنها . وعلى ذلك ، فلكى نكمل الخمسة عشر فصلا التى امتدحت فيها انتصارات العلم ، فاننى أود أن أعيد التعادل من خلال ملخص سريع لبعض الأشياء الغامضة الرئيسية التى لا تزال موجودة . وللقيام بهذا ، فسوف أتبع نمط الكتاب بشكل مجمل ، بادئا بأساسيات الفيزياء والكونيات ( الكوزمولوجيا ) ، ونتقدم بعد ذلك نحو دراسة الأشياء الغامضة الرئيسية التى تواجه البيولوجيا فى الوقت الحالى .

فكل شيء يحدث فى الكون ، كل الفيزياء ، كل الكيمياء ، كل البيولوجيا ، تحركها عملية « انحلال » للكون ، تعرف اصطلاحا بالزيادة فى الانتروبيا ، وبتعبير دارج نحو العشوائية الناتجة عن الاصرار المستميت على تشتت الطاقة . وتعطى عملية الانحلال هذه اتجاها لـ « سهم الزمن » الذى يقودنا للأبد نحو المستقبل ، ويمنع أى عودة الى الماضى ، وبالفعل فهو الذى يجعل المستقبل مختلفا عن الماضى ؛ ولكن ما الذى تسبب فى « شحن » الكون أصلا ؟ من أين جاءت

طاقته المنظمة والمركزة ( حالته المنخفضة الانتروبيا الأولية ) ؟ هـذا ما يوصف بأنه الغموض الرئيسى للفيزياء ، وبدون اجابة له لا نستطيع التظاهر بأننا نفهم الكون الذى صنعنا منه . وقد اقترحت العديد من الاجابات الممكنة ، ولكن لم يبد أى منها بعد مقنعا بصورة كاملة ، أو قد تم وصفه بصياغة رياضية قوية مناسبة .

ونحن لا نعرف المصير النهائى للكون أيضا . هل سيستمر فى التمدد للأبد نحو مستقبل سرمدى من البرودة الميتة ، أم سينهار على نفسه فى صورة « انسحاق عظيم » ، قد يتلوه انفجار عظيم جديد ، وبداية جديدة ؟ ويبدو أن الكتلة الكلية للكون ستكون المحدد الحاسم لهذا المصير . فاذا زادت عن قيمة معينة ، حينئذ فسوف يتسبب شدها الجذبى المتبادل فى النهاية فى جذب كل شيء نحو الداخل الى انسحاق عظيم . واذا لم توجد كتلة كافية ، سيكون التمدد السرمدى حينئذ نحو عدم بارد هو مصيرنا . والقيمة الحقيقية لكتلة الكون ليست معروفة بعد ، وتجرى الأبحاث على قدم وساق لتحديدها .

كما ستظل الطبيعة الحقيقية للفضاء الفارغ ( أو بالتحديد الزمكان ) أيضا غموضا محيرا . فقد رأينا أن الفضاء بالنسبة للفيزيائيين ليس عدماً ، لكنه ظاهرة ذات تركيب عميق وخفى . كم عدد الأبعاد الموجودة فيه ؟ هل هو كينونة مستمرة أو متكون من شبكة من النقاط المتقاربة المتميزة ؟ هل كل الجسيمات وكل القوى ، هى مجرد نتائج الفتل والليّ الغامض فى الزمكان ؟ وتعتبر الاجابات عن هذه الأسئلة أمراً حاسماً لأى فهم كامل للطبيعة ، لكنها لا تزال اجابات مجهولة .

فى الفيزياء الحديثة ، تتمتع جميع الأشياء التى تبدو أنها جسيمات وجميع الأشياء التى تبدو أنها موجات ، بكل من خواص الموجات والجسيمات ، ويوصف سلوكها بواسطة نظرية ميكانيكا الكم . الا أن رياضيات ميكانيكا الكم ، لا يمكن أن تخبرنا بيقين مؤكد ، ماذا يفعل نظام فيزيائى ، أو ماذا سيفعل فى المستقبل . والتفسير الاصطلاحى للاجراءات الرياضية لميكانيكا الكم ، هو أنها لا تكشف الا عن المعلومات الاحتمالية الاحصائية عن كون ، يبدو متبلورا من العديد من الاحتمالات عندما نختبره كل مرة ؛ فى حين توجد تقسيمات أخرى منافسة وأشياء غامضة كثيرة تكتنف حتى وجهة النظر التقليدية. ويرى بعض الفيزيائيين أن نظرية الكم ليست كاملة ، وعندما تكتمل ، فقد تلغي عناصرها الاحصائية الاحتمالية . وعلي ذلك ، ما هو التفسير

الصحيح لميكانيكا الكم ، تلك النظرية التى لا تزال تعطينا وصفا أفضل حتى الآن عن العالم المتناهى الصغر ؟ وهل هناك تطورات أخرى مطلوبة حتى يكتمل هذا الوصف ؟

وهناك شيء غامض آخر يتعلق بميكانيكا الكم ، هو أن تجارب الفيزياء الأساسية قد كشفت عن أن هناك روابط أو ارتباطات رياضية غامضة بين الجسيمات المتباعدة عن بعضها البعض بعداً كبيراً ، بحيث ان شيئاً يمر بينها سيحتاج الى التحرك بسرعة أكبر من سرعة الضوء ، ليكون مسئولا عن التأثيرات المرصودة . ولدى الفيزيائيين مبرر قوى لرفض ما هو أسرع من الضوء ، وعلى ذلك ، ماذا تعنى هذه التجارب بالنسبة لطبيعة الكون والاتصالات بين أجزائه ؟ وما التفسيرات التى يمكن أن تقدمها عن هذا الغموض ؟

لقد بحث هذا الكتاب عن التبسيطات التى تقع فى صميم كل تعقيد الكون ، بينما تظل تفاصيل التعقيد موجودة منتظرة الحل . كيف ، على سبيل التفصيل لا الاجمال ، تخرج النظم المعقدة من تفاعل الأجزاء البسيطة ؟ فقد حاول الناس طوال عدة قرون استجلاء فهم العمليات الطبيعية عن طريق اختصارها الى أجزائها البسيطة ، التى تعمل فى ظروف بسيطة . وقد ترك هذا الأسلوب العديد من المسائل الغامضة بدون حل ، والمتعلقة بالنظم المعقدة . وبدأ علم الهيولى الناشيء فى اماطة اللثام عن شيء من طبيعة التعقيد ، لكننا بعيدون عن فهم حقيقى لمعظم الظواهر المعقدة المحيطة بنا وبداخلنا .

وهناك أشياء غامضة أيضا فى العلم الأساسى ، الكيمياء ، لكنها ليست جوهرية بنفس الدرجة كتلك الأشياء الغامضة التى تواجه الفيزيائيين والبيولوجيين . فالكيميائيون لديهم رغبة ملحة فى معرفة المزيد عن الآليات الدقيقة التى تؤدى لاستمرارية التفاعلات ، عن الخطوات المعقدة الدقيقة التى تتبعها الالكترونات والنوى ، فيما وصفته بـ « الرقصة الجنونية » . وهناك أيضا نظريتان مختلفتان نوعا ما أو نماذج تستخدم لوصف الطبيعة الدقيقة للروابط الكيميائية ، تعرف احداها بمدخل « الرابطة التكافئية Valence bond » ، وتعرف الأخرى بمدخل « الحيز المدارى الجزيئى Molecular orbital » . والتنافس بين هذين المدخلين لا يؤثر على الاطار الأساسى للروابط الكيميائية التى ذكرت فى هذا الكتاب ، حيث يركز هذا الاطار على المبادىء الأساسية التى يشترك فيها الاثنان ؛ لكنه من الصحيح القول بأن الكيميائيين لا يزال

ينقصهم وصف رياضي واحد بصورة مرضية عن التفاصيل الكاملة للروابط الكيميائية .

واذا ما انتقلنا الى البيولوجيا ، فسوف تواجهنا مشكلة ، كيف نشأت الكائنات العضوية الكبيرة ، متعددة الخلايا كالانسان من خلايا وحيدة . فنحن نعرف أن هذه العملية التطورية ، تتحدد من التفاعل بين جينات الخلية الأصلية والبيئة المحيطة بها ، بينما لا نعرف سوى القليل جداً بالتحديد عن كيف نشأ مخلوق على قدر من التعقيد كالانسان نتيجة التفاعل بين الخلايا . وحتى فى عصر الهندسة الوراثية ، وعصر أطفال الأنابيب ، فلا يزال الكثير مما يحدث فى الرحم يكتنفه الغموض .

وعندما نبحث داخل أمخاخنا ، التى نعتقد أنها السبب فى عقولنا ، فلا يمكننا أن نجد شيئا سوى خلايا حية تتكون من مواد كيميائية . ونحن نعرف الكثير عن الطريقة التى تمرر بها هذه الخلايا الاشارات الكهروكيميائية بينها ، لكننا لا نعرف شيئا عن الطريقة التى تخلق بها عقولنا الواعية ، بافتراض أنها تقوم بذلك . وأن نفهم ، أو على الأقل بشىء أكثر دقة لكى نصف ، مصدر الوعى ، هو بالتأكيد التحدى النهائى الذى يواجهنا . وربما يكون تحديا مستحيلا ، لكننا يجب أن نقبل على الأقل ، أن العلم لا يمكنه أن يخبرنا فى الوقت الراهن عن أى شىء جوهرى عن كيف يتحقق الوعى ، ثم الادراك الذى يتبدد بمرور الزمن.

وتعتبر ظاهرة الذاكرة المرتبطة بلغز العقل ، لغزا آخر ، ولو أنه يمكن فهمها بطريقة أسهل من مشكلة الوعى . فالمخلوقات البسيطة التى نعتبرها مخلوقات واعية ، تبدى تأثيرات معقدة وقوية للذاكرة . وقد بدأت الأبحاث فى الكشف عن بعض غموض الذاكرة فى هذه المخلوقات البسيطة ، وقد تلقى النتائج بعض الضوء على الغموض الذى لا يزال قائما عن طبيعة وأصل ذاكرتنا .

والتفكير فى العقل ، يعيدنا أيضا الى المشكلة الأساسية حول الارادة الحرة : فالسؤال عن كيف تسمح لنا قوانين الفيزياء الصماء بأخذ قرارات ، أو بمعنى آخر ، تجعلنا نحظى « بارادة حرة » — أم تراها تقوم بذلك حقا ؟ ستكون الاجابة عن هذا السؤال مرتبطة بالطبع بالإجابة عن غموض الوعى ، لكن هناك شيئين غامضين . فمن حيث المبدأ ، فقد ينشأ الوعى اما مع ارادة حرة حقيقية متاحة ، أو مع مجرد وهم بالارادة الحرة مرتبط بخليط متشابك من الاحتمال والحتمية .

فنحن لا نعْرف ما اذا كانت ارادتنا الحرة الظاهرية ، ارادة حقيقية أم وهما ، ومن الصعب جدا علينا اكتشاف الحقيقة ٠

والتطور هو مجال يمكن أن يتوقع فيه الغموض ، حيث حدثت معظم الأجزاء الأكثر أهمية من تطور الحياة عندما لم يكن هناك من هو على قدر من الذكاء لكى يدرسها ويقدم شهادة يمكن الاعتماد عليها . وكشفت الأبحاث الحديثة فى البكتيريا عن القدرة المحيرة — على ما يبدو — على انتاج طفرات معينة استجابة لمطالب محددة . وهذا يتناقض مع العقيدة الراسخة ، بأن الطفرات التى تقود التطور طفرات عشوائية ، أو على الأقل غير موجهة نحو متطلبات سابقة الوجود ، فربما آلية قوية للتطور ، تنتظر من يكتشفها .

وبطبيعة الحال ، كان أصل الحياة الشرارة الأولى للتطور ، وبرغم السنوات العديدة من الأبحاث والتأمل ، فقد ظلت الطريقة التى بدأت بها الحياة لأول مرة مسألة غامضة . ولا توجد لدينا دلالة مؤكدة ، فيما اذا كانت الحياة التى انحدرنا منها ، قد نشأت لأول مرة على الأرض أو فى مكان آخر . ولا نعرف المسارات الكيميائية ، التى يفترض أنها جعلت خليطاً من مواد كيميائية بدائية تتفاعل فيما بينها وبين المواد الكيميائية الأخرى لكى تخلق النظم التكاثرية والتطورية الأولى ، المطلوبة لوضع الحياة فى مسارها الصحيح . وهناك نظريات يعتقد فيها بصورة قوية ، لدرجة أن الكتب المدرسية الأولية غالبا ما تقدمها وكأنها حقائق مثبتة ، غير أن النظريات تتغير مثلما تتغير التقليعات جيئة وذهابا ، ويظل كل شيء بلا اثبات ، وغالباً لا يدعمها الا قدر ضئيل من التجارب .

ونحن لا نعرف أيضا ما اذا كنا الوحيدين فى هذا الكون ، أم أن الكون يكتظ بكائنات بأعداد وفيرة تعيش خارج نطاق الأرض فى عوالم أخرى . وقد بدىء بالفعل فى البحث عن آثار هذه الحياة خارج كوكبنا .

وبالرجوع الى الأشياء التى تسير سيرا غير طبيعى معنا عندما تتدهور حالتنا الصحية ونموت ، فالأسباب الحقيقية التى تسبب العديد من الأمراض ، تظل الى حد ما غامضة ؛ السرطان وأمراض القلب وحالات العته العديدة على سبيل المثال لا الحصر ٠ ولا يزال الغموض أيضا يكتنف طبيعة بعض الأمراض المميتة التى تسببها عوامل معدية لا تزال طبيعتها غامضة . وقد أطلق عليها « الفيروسات البطيئة » أو « بريونات » أو « فيرونسات » ، والتي مازالت لا يعرف عنها شيء ،

أو عن طبيعة عملها على وجه الدقة . وقد انتشرت ( فى بريطانيا ، على الأقل ) كسبب لمرض الدماغ البقرى الاسفنجى الشكل(BSE))، والذى يعتقد أن له علاقة بمرض مشابه يصيب الأغنام ويسمى مرض الدماغ الحموى الاسفنجى ، والذى انتقل الى الماشية نتيجة استخدام لحم الأغنام النيىء وفضلات غذاء الماشية . وللعوامل المسئولة عن مرض الدماغ البقرى ومرض الدماغ الحموى الاسفنجى ، علاقة بأعراض مرض (Creutzfeld- jacob)* يصيب البشر ، وأمراض أخرى مشابهة قد تمثل فئة جديدة تماما من العوامل المعدية ، قد تكون مسئولة عن العديد من الأمراض المهلكة البطيئة المفعول ، والتى لا تزال مجهولة الأسباب ·

وأخيرا ، فالموت هو الحقيقة المؤكدة فى المستقبل لكل واحد منا ، ولكن ما السبب فى أن أجسامنا تشيخ ثم تموت ؟ يأخذ بعض البيولوجيين بوجهة النظر التى تقول باننا « مبرمجون على الموت » من خلال عمل الجينات ، التى تطورت عن طريق الانتقاء الطبيعى · ويعتقد البعض الآخر بوجود تدهور كيميائى عشوائى ، ويلقون باللوم على القانون الثانى للدينآميكا الحرارية ، الذى يجعل أجزاء مهمة منا تبلى وتفقد موضعها فى شبكة التفاعلات المعقدة التى تجعلنا على قيد الحياة · وهناك نظريات كثيرة ، تدعمها بعض البراهين ، لكن سيظل هناك زمن طويل قبل أن نفهم بشكل كامل هذه الظاهرة الأخيرة للحياة .

لذا لا يجب أن ندع أى انسان يقنعنا بأن العلم قد أوشك على الانتهاء ، أو أن كل شىء تقريبا كان من الواجب معرفته قد عرف ، كما يحاول البعض الاقناع به · فاذا عدنا للوراء وعددنا الانجازات جنبا الى جنب مع الأشياء الغامضة التى لم يتوصل العلم لحلها ، فربما يكون من الأسهل أن نستنتج أن العلم لا يزال يخطو خطواته الأولى .

وهناك من غير شك جدول أعمال مكتظ جدا بالأمور الغامضة التى تنتظر أن يطبق عليها الأسلوب العلمى ونحن نخطو نحو مشارف القرن الحادى والعشرين . لقد اكتشفنا الكثير عن الطبيعة ، ولدينا الكثير من الانجازات التى نفخر بها ، بينما يظل هناك الكثير والكثير يتطلب الكشف عنه وكثير من الجهود يجب أن تبذل .

انتهى بحمد الله وعونه ؟

١٩٩٧/٥/١٠

---

(★ مرض يعقوب : اعتلال دماغى فتاك متقدم ويحدث بصورة نادرة ، ويتسبب فى نمو نسيج مخ مسامى وعته مبكر فى منتصف العمر ، وفقد تدريجى فى التناسق العضلى — ( المترجم ) ·

# هـــوامش

## هوامش الفصل الأول

(١) المقصود هنا النسبية الخاصة التى وضعها اينشتين عام ١٩٠٥ ، وهى تتعامل ، كما سيشير المؤلف حالا ، مع السرعات المنتظمة ، اى السرعة الثابتة فى خط مستقيم ، اما السرعة المتغيرة ، فمجالها النظرية النسبية العامة ، والتى وضعها عام ١٩١١ وتناولت بالتالى الجاذبية والكون ككل ، على ما سيأتى فى فصول لاحقة ــ ( المراجع ) ٠

(٢) يشير المؤلف الى اسحق نيوتن واضع علم الميكانيكا فى القرن السابع عشر ، وسيرد اسمه كثيرا فى الكتاب ــ ( المراجع ) ٠

(٣) ظهر صدق كافة تنبؤات نظرية النسبية المشـار اليها والتى سـيرد غيرها فى الفصول التاليـة فى التجارب التى اجريت على الجسيمات الذرية ، حيث انها تستطيع أن تتحرك بسرعات تقارب سرعة الضوء ــ ( المراجع ) ٠

(٤) الاسم الذى كان يطلق على كلية الهندسة وقتها ــ ( المراجع ) ٠

## هوامش الفصل الثانى

(١) المقصود هو الكتلة التى تحدد بالنظرية النسبية طبقا لمعادلات الكتـلة لها ــ ( المراجع ) ٠

(٢) يسمى هذا الاقتراح « مبدأ ماخ » ، نسبة للعـالم الفيزيائى ماخ ، والذى له تنسب وحدة سرعة الصوت ــ ( المراجع ) ٠

## هوامش الفصل الثالث

(١) تعرف الأبحاث التى تهدف لتوحيد قوى الطبيعة بأبحاث « المجال الموحد » ــ ( المراجع )

## هوامش الفصل الخامس

(١) اللفظتان السابقتان أوردهما المؤلف على سبيل الدعابة ــ ( المراجع ) ٠

## هوامش الفصل السادس

(١) تسمية « البوزونات » نسبة الى العـالم الهندى « سانيندرا بوز » اما الصنف الآخر من الجسيمات فيطلق عليه « الفرميونات » نسبة للعالم الايطالى « انريكو فيرمى » ، « ما بعد أينشتين ، ص ١٤٢ · ترجمة الدكتور فايز فوق العادة الناشر : اكاديميا ـ ( المراجع ) ·

(٢) يقول فيرمى متندرا : « لو استطعت تذكر كل هذه الأسماء ، لأصبحت عالما فى علم النباتات » · أما أوبينهايمر فيتندر بدوره ، مقترحا أن تعطى جائزة نوبل « لمن لا يكتشف جسيما جديدا هذا العـــام » ـ ( المراجع ) ·

(٣) يشير المؤلف لما يعرف بنظرية « الوتر الفائق Superstring » ، راجع « ما بعد أينشتين السابق الاشارة اليه ـ ( المراجع ) ·

## هوامش الفصل السابع

(١) يظهر نمط التداخل الموجى على صورة عدة دوائر متحدة المركز ، ومتبادلة بين الضوء والعتمة ، وهى ظاهرة قد تكون مألوفة حتى فى حياتنا اليوميـة بالنسـبة للضوء ـ ( المراجع ) ·

(٢) اقترح هذا التفسير ، وبالتالى التسمية ، الفيزيائى ماكس بورن ، أما التسمية التى اقترحها دى برويى فى الأصل فكانت « الموجات المادية matter waves ـ ( المراجع ) ·

(٣) الشكل الهيولى هو الشكل غير محدد الملامح ، والفرق بين مصطلحى Random وترجمته « عشوائى » و Chaotic الذى نفضل ترجمته « هيولى » فرق دقيق ، ولكن تجدر الاشارة اليه ، فالسلوك الهيولى هو ـ كما جاء بالمتن ـ سلوك محـكوم بقواعد حتمية بسيطة ( كحركة ذرة غبار فى فضاء الحجـرة ، فهى خاضعـة لقوانين نيوتن الثلاثة للحركة ) ومن ثم فهو من حيث المبدأ قابل للتنبؤ به ، لولا الصعوبات العملية ، أما السلوك العشوائى فهو من حيث المبدأ غير قابل للتنبؤ به ( كحركة شخص ثمل ) ـ ( المراجع ) ·

(٤) هذا المثال هو ما ضربه أينشتين كتجربة ذهنية لدحض مفهوم عدم اليقين فى نظرية الكم ، ولكن التجربة العملية المشار اليها ، والتى أجريت بعد سنوات من وفاته كانت ضده ـ ( المراجع ) ·

## هوامش الفصل التاسع

(١) لتصوير كم هو شاسع هذا الفراغ داخل الذرة ، يقال انه لولا هذا الفراغ لما أمكن رؤية الانسان الا تحت المجهر – ( المراجع ) ٠

(٢) يجب التفرقة بين وقوع كلمة Orbital كصفة مشتقة من Orbit بمعنى مدار ، وتعنى مسارا محددا لجسم حول آخر ، كمدار الأرض حول الشمس ، أو الالكترونات في النظرية الكلاسيكية للذرة ، وبين كلمة Orbital كاسم ، ويعبر عن منطقة احتمال لوجود جسيم فيها ، طبقا لفكرة النظرية الكمية من أن الجسيمات دون الذرية لا يمكن النظر اليها على أنها تحتل أماكن محددة في الفراغ ، أسوة بالأجسام المرئية ، وقد وردت ترجمة المصطلح الثانى في معجم اكاديميا للمصطلحات العلمية « مدارى » ( كاسم وليس صفة مشتقة من مدار ) ، وقد تترجم تعريبا « أوربيتال » ، أما معجم المصطلحات العلمية للخطيب فأوردها بترجمة « حجم مدارى » ، وهى أقرب من الترجمة التى أوردناها ، وأدعى لعدم اللبس بين الكلمة كاسم وكصفة – ( المراجع ) ٠

(٣) يعرف هذا المبدأ بمبدأ « باولى للاستبعاد Pauli Execlusion Principle – ( المراجع ) ٠

(٤) وردت هذه الترجمة التى نفضلها فى « المورد » ، وقد ذكرت فى معجم اكاديميا « المستوى الحضيضى » وفى معجم المصطلحات للخطيب « حالة الخمود » – ( المراجع ) ٠

(٥) يتسع الغلاف الثالث لعدد ١٨ الكترونا كما يتضح من الشكل ٩ – ٥ ، ومع ذلك فبمراجعة الجدول الدورى نجد أن الدورة الرابعة تبدأ بعنصر الكالسيوم ( رقم ١٩ ) بعد عنصر الارجون ( رقم ١٨ ) والذى يحتوى فى غلافه الأخير ( الثالث ) على ثمانية الكترونات فقط ، وكان المتوقع أن تستمر الدورة بعده حتى يكتمل الغلاف الثالث ، بحيث لا تبدأ الدورة الرابعة الا بعد العنصر ٢٩ ٠ السبب فى ذلك ، بالاضافة للسبب المذكور فى المتن ٠ هو أن الغلاف الأخير فى أية دورة لا يقبل الا ثمانية الكترونات ، مهما كان اتساعه ، ويكون العنصر فى هذه الحالة فى أقوى حالة استقرار ، وهذه القاعدة مستمرة فى كل الجدول الدورى ٠ وما أن يصل الغلاف الأخير الى هذا الرقم حتى تبدأ دورة جديدة ، ولذا فان جميع العناصر التى فى المجموعة الأخيرة ( الخط الرأسى الأخير الأيمن ) ، والتى تتميز بوجود ثمانية الكترونات فى أغلفتها الأخيرة ، هى من الغازات الخاملة التى لا تتحد بغيرها ، نظرا لحالة الاستقرار التى ذكرناها ، وهذه الغازات هى على الترتيب من أعلى المجموعة لأسفلها : الهيليوم (٢) ، النيون (١٠) ، الأرجون (١٨) ، الكريبتون (٣٦) ، الزينون (٥٤) ، الرادون ، وهو غاز مشع (٨٦) – ( المراجع ) ٠

## هوامش الفصل الحادى عشر

(١) ينطق الحرف « سيجما » ، وهو حرف اغريقى ، وتسمى الرابطة « الرابطة سيجما » ، وهناك روابط أخرى تسمى بأحرف الاغريقية أيضا مثل دلتا وباى ·· الخ ــ ( المراجع ) ·

(٢) يفسر هذا الميل بالتالى : تمثل العناصر فى أقصى اليمين من الجدول الدورى ( مجموعة الغازات الخاملة ، راجع تعقيبنا فى الفصل التاسع ) حالة استقرار مثلى ، وذلك حين يكون الغلاف الخارجى محتويا على ثمانية الكترونات ، ومن ثم يمكن النظر لهذه العناصر على أنها فى حالة « ارستقراطية » بين العناصر ( تسمى بالفعل فى بعض الكتابات بالغازات النبيلة ) ولبقية العناصر ميل شديد الى تقليد هذه الحالة · وعناصر مجموعة الفلزات لها فى الغلاف الأخير عدد قليل من الالكترونات ( من واحد الى ثلاثة ) ، وحيث أن الغلاف قبل الأخير يحتوى على ثمانية الكترونات ، فبتخلى العنصر الفلزى عن الكترونات الغلاف الأخير يصبح فى الحالة الأرستقراطية المنشودة · أما اللافلزات فالوضع بالنسبة لها معكوس ، فهى تحتوى على عدد كبير من الالكترونات فى غلافها الأخير ، ومن ثم فان بها ميلا الى اقتناص الكترونات من عناصر أخرى تكمل بها غلافها لثمانية الكترونات · ويفسر ذلك الميل للتفاعل بين الفلزات واللافلزات كما ذكر فى حالة الصوديوم والكلور ، فالرابطة الأيونية هى فى الواقع « صفقة » ترضى كلا الطرفين ــ ( المراجع ) ·

## هوامش الفصل الثانى عشر

(١) بمعنى آخر ، ترحيل عن النقطة الدنيا للطاقة ، وهى نقطة استقرار الجزيئات المنفردة ــ ( المراجع ) ·

(٢) لهذا السبب تقسم التفاعلات الكيميائية الى تفاعلات « طاردة للطاقة » ، كحالة تكوين الأمونيا المشروحة ، وتفاعلات « ماصة للطاقة » ، كالحالة العكسية ، تحلل غاز الأمونيا ــ ( المراجع ) ·

## هوامش الفصل الثالث عشر

(١) نبذة عن الأجزاء التى لم يتعرض لها الكتاب بالشرح : جهاز جوجلى : مجموعة من الفجوات على هيئة حزم يعتقد انها مخزن لبعض انواع البروتينات ـ الميتوكوندريا : أجسام خيطية هى مركز اطلاق الطاقة ، وفيها يتم اكسدة الغذاء ـ الليسومات : جسيمات تحتوى على تركيز عال من الانزيمات الهاضمة ـ الشبكة الاندوبلازمية : اغشية دقيقة مزدوجة تشبه غشاء الخلية ، تعمل كدعامة للسيتوبلازم ، ومنطقة لبناء البروتينات تتكاثر الريبوسومات بها ـ ( المراجع ) ٠

(٢) معجم اكاديميا للمصطلحات العلمية والتقنية ـ ( المراجع ) ٠

(٣) مترجم فى المعجم السابق « المجموع الورثى » ـ (المراجع) ٠

(٤) تترجم أحيانا « رامزة » ، معجم اكاديميا ـ ( المراجع ) ٠

(٥) توجد ثلاثة كودونات معبرة عن أمر التوقيف ، موضحة فى جدول شكل ١٣أ ـ ٨ باسم Stop ، بينما لم يذكر المؤلف شيئا عن الكودون الممثل لبدء البروتين ، وهو الكودون AUG ، وهو المقابل للحمض الأمينى ميثونين ، ومبين فى الجدول بالرمز Met ، وبه تبدأ كافة التراكيب البروتينية ـ ( المراجع ) ٠

## هوامش الفصل الرابع عشر

(١) فتائل فى سيتوبلازم الخلية تعتبر مصدرا لاطلاق الطاقة وفيها تتم اكسدة الغذاء ـ ( المراجع ) ٠

(٢) عضية تحتوى على اليخضور ( الكلوروفيل ) ـ ( المراجع ) ٠

## هوامش الفصل الخامس عشر

(١) نذكر بان الأيونات هى ذرات ناقصة بعض الالكترونات ، ومن ثم فهى موجبة الشحنة ، وهو ما يمثله الرمز + فى الرمز الكيميائى للأيون ، ومعنى أن عددا من الأيونات يكون خارج الخلية اكبر من داخلها ، أن الشحنة الخارجية تكون موجبة عن الداخلية ، وهو ما يعنى أن الشحنة الداخلية تكون سالبة بالنسبة للخارجية ٠ والمصطلح التقنى لعدم التعادل هذا هو « القطبية Polarization » ، والتعادل الكهربى يعنى محو القطبية ، وعكس القطبية يعنى أن تكون الشحنات الموجبة فى داخل الخلية اكبر منها خارجها ـ ( المراجع ) ٠

# مسرد المصطلحات مرتبة حسب الأبجدية اللاتينية

| | |
|---|---|
| Activation energy | طاقة تنشيط |
| Adenine | ادنين |
| Amino acids | أحماض أمينية |
| Atomic number | عدد ذرى |
| Atoms | ذرات |
| Base-pair | ازدواج قاعدى |
| Bases (of DNA OR RNA) | قواعد (د.ن.أ أو ر.ن.أ) |
| Big bang | انفجار عظيم |
| Big crunch | انسحاق عظيم |
| Bond | ربـــاط |
| Bosons | بوزونات |
| Catalyst | حفـــاز |
| Cell membreance | غشاء الخلية |
| Cell | خلية |
| Chaos | هيولية |
| Charge | شحنة |
| Chromosome | كرموسوم |
| Conzyme | انزيم مساعد ، مشارك ، تميم |
| Covalent bond | رابطة تساهمية |
| Cytosine | سيتوسين |
| Cytoplasm | عصارة خلوية ستيوزول |
| Dendrite | تشعب عصبى |
| DNA | د.ن.أ |

| | |
|---|---|
| Double-helix | حلزون مزدوج |
| Electric charge | شحنة كهربية |
| Electromagnetic radiation | اشعاع كهرومغنطيسى |
| Electromagnetic force | قوة كهرومغنطيسية |
| Electron | الكترون |
| Electronegativity | سالبية كهربية |
| Electroweak force | قوة كهروضعيفة |
| Elements | عناصر |
| Energy | طاقة |
| Entropy | انتروبيا |
| Enzyme | انزيم |
| Equilibrium | اتزان |
| Evolution | تطور |
| Expression of genes | صيغة جينية |
| Force | قوة |
| Funamental forces | قوة اساسية |
| Gene | جين |
| Genetic code | شفرة وراثية |
| Gluon | جلونات |
| Gravitational force | قوة جاذبية |
| Gravitons | جرافيتونات |
| Ground state | الحالة الأرضية ، حالة الخمود ـ الحالة الدركية |
| Guanine | جوانين |
| Heat | حرارة |
| Higher organism | كائن حى راق |
| Hydrogen bond | رابطة هيدروجينية |
| Inertia | قصور ذاتى |
| Interaction | تفاعل |

| | |
|---|---|
| Interference | تداخل |
| Ionic bond | رابطة أيونية |
| Ions | أيونـــات |
| Kinetic energy | طاقة حركة |
| Light | ضوء |
| Lower organism | كائن حي بدائى |
| Mass number | عدد كتلى |
| Mass | كتلة |
| Messenger RNA (m RNA) | ر.ن.أ رسول |
| Metabolism | ايض،تفاعل حيوى،استقلاب |
| Metabolites | أيضات |
| Metalic bonds | روابط معدنية |
| Molecular orbital | حيز مدارى جزيئى |
| Molecule | جزىء |
| Momentum | كمية تحرك |
| Mutation | طفرة |
| Natural selection | انتخاب طبيعى |
| Nerve impulse | دافع عصبى |
| Nucleic acids | أحماض نووية |
| Organelles | عضيات ، جسيمات عضوية |
| Orbital | حيز مدارى ( أو ربتيال ) |
| Particles | جسيمات |
| Periodic table | جدول دورى |
| Photons | فوتونات |
| Photosynthesis | تمثيل ضوئى |
| Plank's constant | ثابت بلانك |
| Polar covalent bond | رابطة تساهمية استقطابية |
| Potential energy | طاقة وضع |

| | |
|---|---|
| Proteins | بروتينات |
| Proton | بروتون |
| Quantum fluctuation | اضطراب كمى |
| Relativistic mass | كتلة نسبوية |
| Rest mass | كتلة سكون |
| Ribosomal RNA ( rRNA) | ر.ن.أ ريبوسومى |
| Ribosome | جسيم ريبى |
| RNA | ر.ن.أ |
| Spacetime | زمكان |
| Speed | سرعة |
| Strong nuclear force | قوة نووية قوية |
| Thymine | ثايمين |
| transfer RNA (tRNAs) | ر.ن.أ ناقل |
| Van der Walls bonds | روابط ڤان دير وولز |
| Velocity | سرعة اتجاهية |
| Virtual particle | جسيم تقديرى |
| Wave-packet | حزمة موجية |
| Weak nuclear force | قوة نووية ضعيفة |
| Work | شغل |

# مسرد المصطلحات مرتبــة حسب الأبجدية العربية

هذا ملخص للمصطلحات الفنية المستخدمة فى هذا الكتاب ، من خلال السياق الذى استخدمه فيه الكتاب . وهناك عدد قليل من المصطلحات يمكن استخدامها بطرق عديدة أخرى فى سياقات مختلفة . وقد أعــد المسرد حتى يكون وسيلة مساعدة بسيطة للقراء عند قراءتهم لموضوعات الكتـــاب .

## حــــرف أ

**اتزان — Equilibrium**

الحالة التى يستقر فيها تفاعل كيميائى قابل للانعكاس ، عندمـــا تصبح معدلات التفاعلات الأمامية والعكسية متساوية · ويستمر التفاعل الكيميائى ساريا ، ولكن دون أن تتغير المقادير الكلية للمواد المتفــاعلة أو نواتج التفاعل .

**احماض أمينية — Amino acids**

الوحدات البنائية الكيميائية البسيطة لجميع البروتينات . وهنـــاك عشرون حمضا أمينيا مختلفا متاحا تتكون منها البروتينات ، وتوجد فيها متصلة ببعضها البعض فى سلاسل طويلة من « تسلسلات أحمــاض أمينية » معينة .

**أحماض نووية — Nucleic acids**

مواد كيميائية تتكون منها المادة الوراثية للحياة ــ د.ن.أ و ر.ن.أ. تتكون جميع الأحماض النووية من مواد كيميائية تسمى نكليوتيدات متصلة ببعضها البعض فى سلاسل طويلة . وكل نكليوتيد يتكون من مجموعات السكر والفوسفات ، التى تشكل العمود الفقرى لسلسلـــة الحمض النووى ، والقواعد المتصلة بهذا العمود الفقرى .

**ادنين — Adenine**

احدى القواعد الموجودة فى الـ د.ن.أ والـ ر.ن.أ. وهى تتزاوج مع قاعدة الثامين فى د.ن.أ ومع قاعدة يوراسيل فى ر.ن.أ ، لتكونا الازدواج القاعدى ، A - T او A - U .

**ازدواج قاعدى — Base-pair**

قاعدتان متتامتان من قواعد د.ن.أ ، أو ر.ن.أ متماسكتان ببعضهما البعض بقوى الجذب الضعيفة .

**اشعاع كهرومغنطيسى — Electromagnetic radiation**

صورة من صور الطاقة ، تشتمل على الضوء المرئى وموجات الراديو والأشعة تحت الحمراء والاشعة السينية وأشعة جاما ، يمكن أن تنتقل خلال الفضاء لتؤثر على السلوك الكهرومغنطيسى للأجسام التى تتفاعل معها . وتتكون من مجالات كهرومغنطيسية متذبذبة تنتشر بسرعة الضوء ، وتعتبر بلغة الجسيمات ، كدفق من الفوتونات .

**اضطراب كمى — Quantum Fluctuation**

ظاهرة ميكانيكا كم مؤقتة ، مثل ظهور جسيم افتراضى لفترة وجيزة، بسبب الحرية التى اتاحها مبدأ عدم اليقين .

**الكترون — Electron**

جسيم دون ذرى ، يحمل شحنة كهربية سالبة ، يوجد فى حيزات مدارية ( أوربيتالات ) محيطة بنوى الذرات .

**انتخاب طبيعى — Natural selection**

الاستبقاء الطبيعى والتشعب للجينات والكائنات العضوية الحاملة للطفرات ، التى تساعد الجينات والكائنات العضوية المتأثرة على الاستبقاء والتكاثر . ويعتقد أنها عملية أساسية مسئولة عن توجيه مسار التطور .

انتروبيـــا Entropy

مقياس للمدى الذى عنده تصبح الطاقة مشتتة خلال أى نظـــام فيزيائى . وينص القانون الثانى للديناميكا الكهربية على أن انتروبيـــا النظم الطبيعية فى تزايد بشكل دائم ، موضحا انه فى أى تغير طبيعى تصبح الطاقة دائما مشتتة بشكل عام نحو توزيع أكثر استواء . وغالبا ما توصف الانتروبيا بشكل فضفاض على أنها مقياس « العشوائية » داخل نظام معين .

انزيم — Enzyme

جزىء بروتينى يعمل بمثابة حافز بيولوجى ، يحفز على تفاعـــلات كيميائية معينة متعلقة بكيمياء الحياة .

انزيم مشارك ، مساعد ، تميم — Conzyme

مادة كيميائية تصبح مرتبطة بانزيم وبذلك تساعده على انجاز عمله فى الحفز الكيميائى .

انسحاق عظيم — Big crunch

الصورة العكسية المحتملة للانفجار العظيم ، حيث قد ينهار اليهـــا الزمكان والمادة والطاقة عائدة الى نقطة متناهية الصغر .

انفجار عظيم Big bang

اللحظة التى يفترض فيها انفجار كل من الزمكان والمادة والطاقة فى الكون ، من احدى النقاط المتناهية الصغر ، لتتمدد وتبرد ويتولد عنها الكون « المستمر فى التمدد والبرودة » حتي اليوم .

أوربتيال — Orbital

انظر : حيز مدارى

أيض ، تفاعل حيوى ، استقلاب — Metabolism

جميع الأنشطة الكيميائية التى تحـــدث داخل خلية حيـــة أو كائن عضـــوى .

أيضـــات — Metabolites

مواد كيميائية تساهم فى عملية الأيض .

أيونـــات Ions

جسيمات مشحونة كهربيا ، تتـــكون عندمـــا تكتسب الذرات أو الجزيئات الكترونات ( أيون سالب ) ، أو تفقدها ( أيون موجب ) .

## حـــرف ب

بروتون — Proton

جسيم دون ذرى ، يحمل شحنة كهربية موجبة . يوجد فى نـــوى الذرات .

بروتين — Protein

جزيئات عملاقة تتكون ، عندما تصبح العديد من الأحماض الأمينية الفردية مرتبطة ببعضها البعض ٠ وتقوم هذه البروتينات بالتحفيز والتحكم فى العمليات الكيميائية للحياة ، بالاضافة الى القيام بالعديد من الأدوار الانشائية والأدوار الأخرى .

بوزون — Boson

فئة من الجسيمات ذات قيم عددية صحيحة أو صفر ( أى : صفر ، ١ ، الخ ٠ ولا توجد كسور أبدا ) من اللف ، تشتمل على ما يســمى بالجسيمات « الرسول » ، التى يعتقد أنها تتوسط القوى الأساسية .

## حـــرف ت

تداخـــل — Interference

ميل اثنين او اكثر من الموجات للاتحاد مع بعضها البعض ليعطوا « نمط تداخل » .

ترجمة — Translation

حل شفرة المعلومة الوراثية ( التسلسل القاعـــدى ) لـــ ر٠ن٠أ الرسول الى تسلسل الحمض الأمينى لجزىء بروتينى ، يشـــفر عنـــه د٠ن٠أ الرسول ٠

تشعب عصبى — Dendrite

امتداد رفيع من جسم خلية عصبية ، ينحصر دوره الأساسى فى استقبال المدخلات العصبية من الخلايا العصبية الأخرى .

تطور — Evolution

العملية التى يعتقد أنه تم من خلالها أن تسببت الكائنات الحية الأولية فى كل الصور الأخيرة للكائنات الحية ، ومن خلالها ستولد الحياة الحالية صور الحياة فى المستقبل . ويعتقد أن سبب التطور يعود الى الانتقاء الطبيعى للابداعات المفيدة ، التى تولدت فى المادة الوراثية للكائنات الحية بشكل عشوائى ، أو على الأقل من خلال طفرات غير موجهة .

تفاعل — Interaction

معنى آخر للقوة ، والمصطلح المفضل لدى الفيزيائيين عن القوة .

تمثيل ضوئى — Photosynthesisr

العملية التى تتم داخل النباتات ، وتستخدم فيها طاقة الضوء لبدء التفاعلات الكيميائية التى يتحول ثانى اكسيد الكربون والماء من خلالها الى مواد كربوهيدراتية وغاز اكسجين .

## حرف ث

ثابت بلانك — Plank's constant

ثابت عددى أساسى للطبيعة ، يناظر مقدارا معينا من « الفعل » ( طاقة × زمن ) .

ثايمين — Thymine

احدى القواعد الموجودة فى د.ن.ا. تتزاوج مع ادنين لتكوين القاعدة المزدوجة A-T .

## حـــرف ج

جدول دورى — Periodic table

جدول من العناصر ينقسم الى « دورات أفقية » و « مجموعات » رأسية ، يمثل رقم الدورة عدد الأغلفة للذرة ، ورقم المجموعة عدد الكترونات فى الغلاف الأخير .

جرافيتونات — Gravitons

الجسيمات التى يعتقد انها الوسيطة للجاذبية .

جـزىء — Molecule

جسيم كيميائى يتكون من ذرتين أو أكثر ، تتماسكان مع بعضهما البعض بواسطة روابط تساهمية ، أو تساهمية استقطابية .

جسيم — Particle

مقادير ضئيلة جدا من المادة ، مثل الجزيئات والذرات والأيونات لالكترونات والبروتونات والنيوترونات والكواركات ، الخ .

جسيم تقديرى — Virtual particle

جسيم يدين بوجوده المؤقت لمبدأ عدم اليقين لميكانيكا الكم ، ومن أكثر الأمثلة أهمية على هذه النوعية ، الجسيمات الرسولية التى تتوسط القوى الأساسية .

جسيم ريبى — Ribosome

مركبات من البروتينات ونوع من الـ ر.ن.أ. ويتم فيها تخليق البروتينات .

جسيم W — W particles

أحد انواع الجسيمات الوسيطة للقوة النووية الضعيفة .

جسيم Z — Z particle

أحد انواع الجسيمات الوسيطة للقوة النووية الضعيفة .

جسيمات عضوية ، عضيات — Organelles

تركيبات منظمة متميزة داخل خلايا الكائنات الحية ، غالبا ما تحاط باغشيتها .

جليونات — Gluons

الجسيمات التى يعتقد انها تتوسط القوة النووية القوية .

جوانين — Guanine

احدى القواعد الموجودة فى د.ن.أ و ر.ن.أ. وتزدوج مع السيتوسين لتكون الازدواج القاعدى C — G

جين — Gene

منطقة من د.ن.أ ، تشفر عن جزىء بروتينى واحد ، أو جزىء ر.ن.أ واحد يؤدى وظيفة معينة .

## حرف ح

**الحالة الأرضية ، حالة الخمود** — Ground state

حالة ذرة تكون فيها جميع الكتروناتها فى ادنى مدارات الطاقة المتاحة.

حرارة — Heat

مقياس كمى لطاقة الحركة لجسيمات المادة .

حزمة موجية Wave-packet

تركيب موجى شبيهة بالجسيم ، تتمركز فيها معظم الظواهر الموجية داخل حيز صغير من الفضاء .

بحفاز Catalyst

مادة تسرع من التفاعل الكيميائى ، بينما تظل هى نفسها دون تغير بشكل عام فى عملية الحفز .

حلزون مزدوج — Double-helix

تركيب ينشأ عندما يلتف جزيئان متماسان من الـ د.ن.أ حول أحدهما الآخر فى صورة حلزونين أو لولبين ملتفين على بعضهما البعض. وتركيب الـ د.ن.أ هذا هو الذى يكون الجينات والكروموزومات للحياة .

حيز مدارى ( أوربتيال ) — Orbital

حجم معين من الفراغ داخل ذرة ( حول النواة — المراجع ) ، يمكن أن يوجد به الالكترونات ( اثنان على الأكثر ) .

حيز مدارى جزيئى Molecular orbital

مدار الكترونى يحيط بكل النوى الذرية داخل جزىء .

## حـــرف خ

خلية Cell

الوحدة الأساسية للحياة . وتتكون من كيس محاط بغشاء من سائل مائى ، ويحتوى على جميع المواد الكيميائية التى تسمح للخلية بالحياة والتكاثر .

## حـــرف د

دافع عصبى Nerve impulse

نبضة تغير كهروكيميائى تنتشر عبر غشاء خلية عصبية .

د.ن.أ — DNA

الحمض النووى الريبى منقوص اكسجين — الحمض النووى الذى يحمل المعلومات الوراثية لمعظم صور الحياة .

## حـــرف ذ

ذرات — Atoms

الجسيمات الأساسية للمادة ، تتكون من بروتونات ونيترونات فى نواة مركزية ، ومحاطة بالالكترونات .

## حـــرف ر

رابطة — Bond

رابطة كيميائية بين ذرتين أو أيونين .

رابطة أيونية — Ionic bond

قوة التجاذب الكهرومغنطيسى المسكة بأيونات مشحونة بشحنة سالبة وأيونات مشحونة بشحنة موجبة ببعضها البعض .

رابطة تساهمية Covalent bond

رابطة كيميائية بين ذرتين تنشأ عندما تصبح الالكترونات مساهمة بين ذرتين معينتين . وينتج عن التساهم المتساوى رابطة تساهمية نقية ، وينتج عن التساهم غير المتساوى رابطة تساهمية استقطابية .

رابطة تساهمية استقطابية — Polar covalent bond

رابطة كيميائية بين ذرتين ، تنشأ عندما تصبح الالكترونات تساهمية بين الذرات ، لكنه تساهم غير متساو ، بحيث تمتلك احدى الذرات شحنة موجبة خفيفة ( + δ) ، فى حين تمتلك الأخرى شحنة سالبة خفيفة (— δ) .

رابطة فان درفالس Van der Walls bonds .

قوى جذبية ضعيفة بين مادتين كيميائيتين ، تنشأ من شحنات جزيئية ذات تذبذب عابر على سطوحها ، ينشأ نتيجة الحركة العشوائية لالكتروناتها .

رابطة هيدروجينية Hydrogen bond

رابطة كيميائية ضعيفة ، تنتج من التجاذب الكهرومغنطيسى بين ذرة هيدروجين تحمل شحنة موجبة خفيفة ( لأنها موجودة عند أحد أطراف رابطة تساهمية استقطابية ) وذرة أخرى تحمل شحنة سالبة خفيفة ( لأنها موجودة عند احد أطراف رابطة تساهمية استقطابية أخرى ) . وتضم الروابط الهيدروجينية الازدواجات القاعدية للأحماض النووية المتتامة . وتتكون هذه الروابط أيضا بين جزيئات الماء .

ر.ن.أ RNA

الحمض النووى الريبى . الحمض النووى الذى يعمل كوسيط بين الـ د.ن.أ والبروتين فى الآلية الكيميائية المركزية للحياة .

ر.ن.أ رسول Mesenger RNA (m RNA)

نسخة الـ ر.ن.أ من جين ، التى تصبح مرتبطة بجسيم ريبى وتوجه تصنيع بروتين معين .

ر.ن.أ ريبوسومى — Ribosomel RNA (rRNA)

الـ ر.ن.أ الذى يوجد كجزء متكامل من جسيم ريبى .

ر.ن.أ ناقل Transfer RNA (t RNA s)

جزيئات الـ ر.ن.أ التى تأتى بأحماض أمينية معينة الى الجسيم الريبى أثناء تخليق البروتين وتنقلها الى سلسلة بروتينية متنامية .

روابط معدنية — Mettalic bonds

القوى الكيميائية التى تربط ذرات معدن ببعضها البعض . ويعتقد انها تشتمل على « بحر » متحرك من الكترونات خارجية منجذبة نحو أيونات مشحونة شحنة موجبة داخل هذا البحر .

## حرف ز

زمكان — Spacetime

« ميدان التنافس أو الصراع » ، الذى تحدث فيه كل حادثات الكون. ويتكون الزمكان من أبعاد المكان ( والتى من المؤكد أن عددها ثلاثة أبعاد ، ولكن ربما تكون أكثر من ذلك ) المتحدة بطريقة رياضية قوية ببعد الزمان الواحد .

## حرف س

سالبية كهربية — Electronegativity

مقياس لقدرة ذرة على جذب الكترونات نحوها ، أثناء مشاركتها فى رابطة كيميائية .

سرعة — Speed

مقياس كمى للمسافة المقطوعة بواسطة جسم متحرك فى زمن معين، دون أخذ الاتجاه فى الاعتبار .

سرعة اتجاهية — Velocity

مقياس للسرعة التى يتحرك بها جسم فى اتجاه معين مقدارا واتجاها

سيتوسين Cytosine

احدى القواعد الموجودة فى د.ن.أ ، أو ر.ن.أ. وتتزاوج مع قاعدة جوانين لتكون الازدواج القاعدى G-C .

## حـــــرف ش

شحنة — Charge

مصطلح يطلق على الظاهرة الغامضة التى تجعل الأشياء الحاملــة للشحنة ، تولد وتشعر بتأثيرات قوى أساسية . وعلى سبيل المثال ، فالأجسام الحاملة لشحنة كهربية ( التى اما أن تكون شحنة موجبة أو سالبة ) تولد وتشعر بتأثيرات القوة الكهرومغنطيسية .

شحنة كهربية Electric charge

شحنة كهربية موجبة أو سالبة ، تجعل الأجسام حاملة الشحنة ، تولد وتشعر بتأثيرات القوة الكهرومغنطيسية .

شغل — Work

مقياس كمى للطاقة المنقولة لجسم عندما تكون حالة ســـكونه أو حركته متغيرة بتأثير القوة . ويبذل الشغل عندما يتحرك جســم ضــد تأثير قوة أساسية .

شفرة وراثية — Genetic code

الشفرة التى تحدد اى الكودونات الموجودة فى ر.ن.أ. الرسول ، تحدث اندماج اى أحماض أمينية الى بروتين .

## حـــــرف ص

**صيغة جينية — Expression of genes**

حل الشفرة الكامل للمعلومة الوراثية لجين الى جزىء بروتينى يؤدى وظيفة ، ويشمل كلا من نسخ الجين الى الـ ر.ن.أ ، وبعد ذلك ترجمة المعلومة الوراثية الى تركيب ( بناء ) بروتينى كامل .

## حـــــرف ض

**ضـــوء — Light**

اشعاع كهرومغنطيسى ذو تردد يقع فى حدود المجال المرئى للانسان. ويستخدم المصطلح أحيانا بصورة فضفاضة للاشارة الى الاشعاع الكهرومغنطيسى بشكل عام .

## حـــــرف ط

**طاقة — Energy**

قدرة النظام على أداء شغل . ويتضمن أداء الشغل احداث حركة ضد قوة أساسية ، لذا يمكن تصور الطاقة على أنها القدرة على احداث حركة ضد قوة أساسية .

**طاقة تنشيط Activation energy**

هى الطاقة المطلوبة لتنشيط مواد كيميائية من أجل المساهمة فى تفاعل كيميائى معين .

**طاقة حركة Kinetic energy**

طاقة الحركة المصاحبة لكل الأجسام المتحركة بسبب حركتها .

**طاقة وضع — Potential energy**

صورة من صور الطاقة تمتلكها الأجسام ، لأن أوضاعها تتضمن بعض التحدى لقوة أساسية .

طفرة Mutation

اى تغير فى اى مادة وراثية ، وعادة يكون الــ د.ن.أ لأى كائن عضوى .

## حــــرف ع

عدد ذرى Atomic number

عدد البروتونات ( أو الالكترونات ) الموجودة فى ذرة .

عصارة خلوية ، سيتوبلازم Cytoplasm

السائل الموجود داخل الخلية .

عــدد كتلى Mass number

العدد الكلى للبروتونات والنيترونات فى اى ذرة .

عناصر — Elements

مواد تتكون من نوع واحد فقط من الذرات .

## حــــرف غ

غشاء الخلية — Cell membreance

الغشاء الدهنى الذى يصنع حدود كل الخلايا .

## حــــرف ف

فوتونات — Photons

جسيمات الكم ( الكوانتات ) للمجالات الكهرومغنطيسية .

## حــــرف ق

القانون الأول للديناميكا الحرارية — First law of thermodynamics

قانون بقاء الطاقة الكتلية ، الذى ينص على ان المقدار الكلى للطاقة الكتلية فى الكون مقدار ثابت ، ويمكن أن تتحول الطاقــة الى صــورة

الكتلة ، ويمكن أن تتحول الكتلة الى طاقة ، بينما يظل المقدار الكلى للطاقة الكتلية ثابتا .

القانون الثانى للديناميكا الحرارية Second law of thermodynamics

القانون الذى ينص على انه فى أية عملية طبيعية ، لابد وان تتزايد انتروبيا الكون بشكل عام ( يمكن فى نظام ما ان تتناقص الانتروبيا ، بمعنى أن يكتسب طاقة بدلا من أن يبددها ، ولكن يكون ذلك على حساب تزايد الانتروبيا فى نظام آخر ، وهو الذى أمد النظام الأول بالطاقة ، ولا بد من أن يتضمن هذا التبادل قدرا من تشتيت الطاقة ، بحيث يكون القانون ساريا بالنسبة للنظامين معا كوحدة واحدة ، لذا فالأدق أن نقول ان هذا القانون يشترط أن يكون النظام مغلقا — المراجع) .

قصور ذاتى — Inertia

ميل اى جسم ذى كتلة للاحتفاظ بحالة حركته أو سكونه . وبمعنى آخر ، ميل هذا الجسم لعدم التسارع أو التباطؤ أو تغيير اتجاهه ، الا اذا اثرت عليه قوة .

قواعد (د.ن.أ أو ر.ن.أ ) — Beses (of DNA OR RNA)

عناصر كيميائية من الجزيئات ، تعرف « بالنكليوتيدات » ، التى ترتبط ببعضها لتكون الأحماض النووية د.ن.أ ، أو ر.ن.أ. ويمكن أن تكون كل قاعدة ازدواج قاعدى مع قاعدة محددة متممة على الجديلة الأخرى للحمض النووى .

قوة — Force

دفع أو جذب ، تحدثه واحدة أو أكثر من القوى الاساسية فى الطبيعة . ويمكن النظر للقوة بصورة افضل ، على انها تفاعل بين اثنين أو اكثر من الأجسام ، وان تأثرها بهذا التفاعل المشترك بدرجة متساوية .

قوة جاذبية — Gravitational force

احدى القوى الأساسية فى الطبيعة . وهى المسئولة عن قوة التجاذب بين جميع الأجسام من ذوات الكتل .

قوة كهروضعيفة — Electroweak force

القوة الموحدة للقوتين الكهرومغنطيسية والقوة النووية الضعيفة .

قوة كهرومغنطيسية — Electromagnetic force

احدى القوى الأساسية للطبيعة . وهى مسئولة عن قوة التجاذب بين جسمين يحملان شحنات كهربية ذات اشارات مضادة ، وقوة التنافر بين جسمين حاملين لشحنات كهربية لها نفس الاشارات ؛ وهى مسئولة أيضا عن ظاهرة المغنطيسية . ومن المحتمل أن تكون حالة خاصة من قوة أشمل ، يطلق عليها القوة الكهروضعيفة بشكل عام ، التى تشمل تاثيراتها أيضا القوة النووية الضعيفة .

قوة نووية ضعيفة — Weak nuclear force

احدى القوى الأساسية فى الطبيعة . وهى المسئولة عن بعض صور الاضمحلال الاشعاعى داخل النوى الذرية . ومن المحتمل ان تكون مجرد واحدة من صورتى القوة الكهروضعيفة .

قوة نووية قوية Strong nuclear force

احدى القوى الأساسية للطبيعة . وهى القوة المسئولة عن تماسك البروتونات والنيوترونات فى نواة الذرة ، وتماسك الكواركات داخل البروتونات والنيوترونات .

قوى أساسية — Fundamental forces

القوى الأربع الأساسية فى الكون وهى : قوة الجاذبية ، والقوة الكهرومغنطيسية ، والقوة النووية القوية ، والقوة النووية الضعيفة . ومن المحتمل أن تكون القوة الكهرومغنطيسية والقوى النووية الضعيفة صورتين متميزتين من احدى القوى الكهربية الضعيفة الموحده ( انظر القوة الكهروضعيفة — المراجع ) ؛ وربما يكشف التقدم فى المستقبل عن التوحيد الكامل للقوى الأساسية فى الفيزياء ( أمكن توحيد القوى النووية القوية مع القوة الكهروضعيفة فيما يسمى « قوة التوحيد العظمى » ، أما ضم الجاذبية لهذه القوة فأمر لا يزال محل بحث ، لمزيد من المعلومات عن محاولات توحيد القوى الأساسية ، انظر « ما بعد أينشتين » ترجمة الدكتور فايز فوق العادة من منشورات اكاديميا — المراجع ) .

## حــــــرف ك

كائن حى بدائى Lower organism

الكائن العضوى الذى لا تحتوى خلاياه على نواة متميزة مثل الخلية البكتيرية ( يضم البكتيريا والطحالب — المراجع ) .

كائن حى راق — Higher organism

كائن حى تحتوى خلاياه على نواة متميزة ، بعكس الكائنات الحية الدنيا مثل البكتيريا التى لا تحتوى على نواة .

كتلة — Mass

مقياس كمى للقوة المطلوبة لتغيير حركة جسم بمقدار معين .

كتلة سكون — Rest mass

كتلة أى جسم عندما يكون فى وضع السكون بالنسبة للشخص الذى يقيس الكتلــة .

كتلة نسبوية — Relativistic mass

كتلة جسم فى الوقت الذى يؤخذ فى الحسبان تأثير حركته بالنسبة للشخص الذى يقيس الكتلة ( اى التاثيــر الذى تقــول به النظريــة النسبية ، وهو لا يظهر بصورة محسوسة الا عندما تقترب السرعــة من سرعة الضوء — المراجع ) . وتعتبر الكتلة النسبويــة هى كتلــة السكون للجسم بالاضافة الى مقدار اضافى من الكتلة ، تعتمد قيمته على سرعة الحركة .

كروموســـوم — Chromosome

تركيب فى بناء اية خلية ، يتكون من جزء من د.ن.أ الخــلية ، بالاضافة للعديد من البروتينات المرتبطة بالــ د.ن.أ. وجميع جينــات خلية ما موزعة بين كرموسوماتها العديدة .

كمية تحرك — Momentum

ناتج ضرب الكتلة فى السرعة لجسم .

كودون — Codon

مجموعة من ثلاث قواعد ، تشفر عن ادماج حمض أمينى معين فى سلسلة بروتينية متنامية ، عن طريق تكوين ازدواج قاعدى مع كودون متمم لـ ر.ن.أ ناقل .

كودون مقابل ، متمم — Anticodon

مجموعة تتكون من ثلاث قواعد موجودة فى جزىء ر.ن.أ ناقل ، والتى يمكن أن تكون قواعد مزدوجة مع كودون متمم على ر.ن.أ الرسول وبذلك تسمح بانضمام حمض أمينى معين ( يحمله ر.ن.أ الرسول ) فى سلسلة بروتين نامية .

كواركات — Quarks

اسم شامل لطائفة من جسيمات أساسية ، وهى تعتبر الوحدات البنائية للبروتونات والنيوترونات .

## حـــرف ل

لبتونات — Leptons

اسم شامل لطائفة من الجسيمات الأساسية ، تضم الالكترون ونيوترونو الالكترون . وتشعر هذه الجسيمات بالقوة النووية الضعيفة والقوة الكهرومغنطيسية ، لكنها لا تشعر بالقوة النووية القوية .

لف — Spin

خاصية خفية للجسيمات ، عندما توصف باستخدام نظرية الكم ، التعريف الرسمى له أنه كمية التحرك الزاوية الكامنة فى الجسيم . ويمكن النظر اليه بصورة فضفاضة على أنه قياس للطريقة التى تدور بها الأجسام حول محورها ، على الرغم من أن هذا فى الواقع تمثيل غير دقيق الى حد ما .

## حـــرف م

مادة — Mattr

المادة التى يصنع منها كل شىء ذى كتلة . وتعتبر الآن صورة من صور الطاقة المتكتلة والتى تشغل حجما محددا .

مبدأ عدم اليقين — Uncertainty principle

المبدأ الأساسي لميكانيكا الكم ، الذى ينص على أن وضع وكمية تحرك أى جسيم ، ليست له قيم محددة فى نفس الوقت . ويمكن أن يذكر أيضا من وجهة نظر عدم اليقين لطاقة ظاهرة معينة وزمن دوامها ( يقصد بالظاهرة هنا احد الجسيمات التقديرية — المراجع ) .

مجـــال — Field

كمية فيزيائية ، مثل قيمة واتجاه القوة الكهرومغنطيســية ، التى تتغير من مكان لآخر داخل الزمكان .

محور عصبى — Axon

الامتداد الطويل لخلية عصبية ، الذى يوصل نبضات عصبية بعيداً عن جسم خلية عصبية ونحو الفروع الطرفية للخلية .

مشبك — Synapse

الفراغ الموجود بين خليتين عصبيتين ، تنتشر عبره الناقلات العصبية، للسماح لنشاط احدى الخلايا العصبية بالتأثير على نشاط خلية عصبية أخرى .

مركب — Compound

أية مادة كيميائية تتكون من نوعين أو أكثر من الذرات أو الأيونات ، مرتبطين معا بطريقة كيميائية بواسطة الروابط التساهمية او الاستقطابية أو الأيونية .

معادلة موجية — Wave equation

المعادلة التى تسمح لجميع الظواهر ، سواء اعتبرت عادة جسيمات أو موجات ، بأن توصف بلغة الكم ، أى على أنها ظواهر شبه موجية .

ميكانيكا الكم — Quantum mechanics

نظرية من نظريات الميكانيكا التى تأخذ فى الاعتبار تكمية الطاقة ( اعتبار الطاقة على شكل مضاعفات لكم ، أو كوانتا ، معين ) وخاصية ازدواجية الصفتين المادية والموجية للجسيمـات والموجـات ( أى أن

الجسيمات لها خاصية موجية ، والموجات لها خـاصية جسيمية ــ المراجع ) ، ومبدأ عدم اليقين . وتعتبر افضل النظريات المتاحة ، التى تفسر انشطة العـالم المتناهى الصغر .

## حـــــرف ن

ناقل عصبى — Neurotransmitter

مادة كيميائية تفرزها خلية عصبية ، يمكن أن ترتبط بعد ذلك بخلايا عصبية مجاورة ، فاما أن تتسبب فى قدح نشاطها أو كبحه .

نسـخ ـ Transcription

نسخ جديلة من د٠ن٠أ الى جديلة مكملة من ر٠ن٠أ .

نســخ الـ د.ن.أ — Replication of DNA

نسخ حلزون مزدوج واحد من د.ن.أ الى نسختين من نفسه .

نظائر — Isotopes

ذرات مختلفة لنفس العنصر ، والتى تختلف عن بعضها البعض فى عدد النيوترونات التى تحتوى عليها .

نظرية النسبية Relativity

نظرية فيزيائية وضعها البرت آينشتين ، وهى فى الحقيقة نظريتين متميزتين : نظرية النسبية الخاصة والنظرية النسبية العامة .

نظرية النسبية الخاصة — Special theory of relativity

نظرية النسبية التى تصف التأثيرات التى يجـدها الراصـدون المتحركون بالنسبة لبعضهم البعض بسرعة ثابتة فى اتجاه واحد ( اى دون تسارع ، أو عجلة ) . ومن نتائجها وحدة المكان والزمان فى صورة زمكان رباعى الأبعاد ، والقابلية لتبدل الكتلة والطاقة ، وظاهرة انكماش الفضاء وتمدد الزمان بالنسبة للأجسام المتحركة بدون تسارع بالنسبة لنا .

نظرية النسبية العامة — General theory of relativity

جزء من نظرية البرت آينشتين التى تصف فيزياء النظم التى تمـر بتسارع نسبى بالنسبة لبعضها البعض ، والتى تحـدد التكـافؤ بين التسارع والجاذبية ، الذى يؤدى الى ان فكرة القوة الجذبية هى نتيجة لتكور الزمكان .

نواة خلية — Nucleus (of cell)

الجسيم العضوى داخل خلية حية ، الذى يحتوى على كروموسومات الخلية .

نواة ذرة — Nucleus (of atom)

مجموعة البروتونات والنيوترونات الموجودة فى مركز أية ذرة .

نيوترون — Neotron

جسيم دون ذرى متعادل كهربيا ، يوجد داخل نوى الذرات .

## حرف هـ

هيولية — Chaos

مصطلح يستخدم لوصف نظم عشوائية ظاهريا ومعقدة ولا يمكن التنبؤ بها . ويكشف علم الهيولية الحديث عن أن مثل هذه النظم قد يتم وصفها بطرق رياضية بسيطة بشكل ممتع . ( يكمن الفرق بين النظم الهيولية والعشوائية فى أن الأولى تخضع لقواعد بسيطة ، كحركة ذرات الدخان فى فضاء الغرفة ، فهى تخضع لقوانين نيوتن فى الحركة ، ومن ثم فمن ناحية المبدأ يمكن وصفها رياضيا بدقة ، ومن ثم التنبؤ بها ، ولكن ذلك غير ممكن عمليا ، أما النظم العشوائية فهى من ناحية المبدأ لا يمكن التكهن بها ، كحركة شخص ثمل — المراجع ) .

## حرف و

وزن — Weight

مقياس كمى لقوة التجاذب بين الأرض والجسم الذى يجرى تحديد وزنه .

## حرف ى

يوراسيل — Urecil

احدى القواعد الموجودة فى ر.ن.أ ، وهى تزدوج مع قاعدة الأدنين لتكوين القاعدة المزدوجة A - U .

# المؤلف

اندرو سكوت كاتب علمى • بعد حصوله على درجة الماجستير فى الكيمياء الحيوية من جامعة ادنبرة عام ١٩٧٧ ، ودرجة الدكتوراه فى الكيمياء من جامعة كمبردج عام ١٩٨١ ، احترف مهنة الكتابة العلمية • ومن مؤلفاته : قراصنة الخلية ، وخلق الحياة والمبادىء والآلية الجزئية ، وقام باعداد كتاب عن رواد العلم ، وكتب العديد من المقالات لبعض دور النشر مثل : نيو ساينتست ، والصاندى تايمز والجارديان • ويقوم باعداد موضوعات للبرامج العلمية فى الاذاعة وعلى وجه الخصوص لاذاعة الـ بى • بى • سى للخدمات الخارجية ، وغالبا يحاضر فى الكيمياء والبيولوجيا ومجالات العلوم الأخرى • متزوج وله طفلان ويعيش فى ادنبره •

# المترجـــم

- هاشم أحمد محمد : حصل على بكالوريوس الهندسة من جامعة الزقازيق عام ١٩٧٥ ، عمل فى مهنة الهندسة المدنية بشركات المقاولات ومهندسا استشاريا فى المكاتب الهندسية الاستشارية •
- من مواليد السويس عام ١٩٥٠ •
- تفرغ للكتابة العلمية ، وقام بترجمة العديد من الكتب العلمية ، ومن أهمها :
- معجم التكنولوجيا الحيوية ـ سلسلة الالف كتاب الثانى •
- قراءة فى مستقبل العالم ـ سلسلة العلم والحياة ـ الهيئة العامة للكتاب •
- وقدم العديد من المقالات العلمية للمجلات التى تصدرها اكاديمية البحث العلمى بالقاهرة •

# المراجـــع

- على يوسف على ، مهندس الكترونيات جامعة الاسكندرية عام ١٩٦٢ •
- حاصل على ماجستير القانون جامعة القاهرة عام ١٩٨١ ودبلوم الترجمة جامعة الاسكندرية عام ١٩٩٠ •
- مارس الترجمة العلمية من اللغـات الانجليزية والالمانية ، كما صدرت له عدة روايات مترجمة •
- نشر له فى سلسلة الالف كتاب الثانى ترجمة كتـاب « البرمجة بلغة السى » ومراجعة كتاب « الدقائق الثلاث الأخيرة » ، ومراجعة كتاب « افكار العلم العظيمة » ( تحت النشر ) •

# كشـــاف

( ذ )



( ر )



( ز )



( س )



( ش )



( ص )



( ض )

( ق )



( ك )



ل

( م )

## اقرا فى هذه السلسلة

برتراند رسل
**أحلام الأعلام وقصص أخرى**

ى. رادونكايا وم. جابوتنسكى
**الالكترونيات والحياة الحديثة**

ألدس هكسلى
**نقطة مقابل نقطة**

ت. و. فريمان
**الجغرافيا فى مائة عام**

رايموند وليامز
**الثقافة والمجتمع**

ر. ج. فوربس و أ. ج. ديكستر هوز
**تاريخ العلم والتكنولوجيا ٢ ج**

ليستر ديل راى
**الأرض الغامضة**

والتر آلن
**الرواية الإنجليزية**

لويس فارجاس
**المرشد الى فن المسرح**

فرانسوا دوماس
**آلهة مصر**

د. قدرى حفنى وآخرون
**الانسان المصرى على الشاشة**

اولج فولكف
**القاهرة مدينة الف ليلة وليلة**

هاشم النحاس
**الهوية القومية فى السينما**

ديفيد وليام ماكدوال
**مجموعات النقود • صيانتها تصنيفها – عرضها**

عزيز الشوان
**الموسيقى تعبير نغمى ومنطق**

د. محسن جاسم الموسوى
**عصر الرواية**

ديلان توماس
**مجموعة مقالات نقدية**

جون لويس
**الانسان ذلك الكائن الفريد**

جول ويست
**الرواية الحديثة • الانجليزية والفرنسية**

د. عبد المعطى شعراوى
**المسرح المصرى المعاصر ، أصله وبدايته**

انور المعداوى
**على محمود طه الشاعر والانسان**

بيل شول وادينيت
**القوة النفسية للأهرام**

صفاء خلوصى
**فن الترجمة**

رالف ئى ماتلو
**تولستوى**

فكيتور بروميير
**ستندال**

فيكتور هوجو
**رسائل وأحاديث من المنفى**

فيرنر هيزنبرج
**الجزء والكل « محاورات فى مضمار الفيزياء الذرية »**

سدنى هوك
**التراث الغامض • ماركس والماركسيون**

ف. ع. أدينكوف
**فن الأدب الروائى عند تولستوى**

هادى نعمان الهيتى
**أدب الأطفال « فلسفته ، فنونه وسائطه »**

د. نعمة رحيم العزاوى
**احمد حسن الزيات كاتبا وناقدا**

د. فاضل احمد الطائى
**أعلام العرب فى الكيمياء**

جلال العشرى
**فكرة المسرح**

هنرى باربوس
**الجحيم**

د. السيد عليوة
**صنع القرار السياسى فى منظمات الادارة العامة**

جاكوب برونوفسكى
**التطور الحضارى للانسان**

د. روجر ستروجان
**هل نستطيع تعليم الأخلاق للأطفال ؟**

كاتى ثير
**تربية الدواجن**

ا. سبنسر
**الموتى وعالمهم فى مصر القديمة**

د. ناعوم بيتروفيتش
**النحل والطب**

جوزيف داهموس
**سبع معارك فاصلة فى العصور الوسطى**

د. لينوار تشامبرز رايت
**سياسة الولايات المتحدة الأمريكية ازاء مصر**

د. جون شندلر
**كيف تعيش ٣٦٥ يوما فى السنة**

بيير البير
**الصحافة**

د. غبريال وهبة
**دور الكوميديا الالهية لدانتى فى الفن التشكيلى**

د. رمسيس عوض
**الأدب الروسى قبل الثورة البلشفية وبعدها**

د. محمد نعمان جلال
**حركة عدم الانحياز فى عالم متغير**

فرانكلين ل. باومر
**الفكر الأوروبى الحديث ٤ ج**

شوكت الربيعى
**الفن التشكيلى المعاصر فى الوطن العربى**

د. محى الدين احمد حسين
**التنشئة الأسرية والأبناء الصغار**

ج. دادلى اندرو
**نظريات الفيلم الكبرى**

جوزيف كونراد
**مختارات من الأدب القصصى**

د. جوهان دورشنر
**الحياة فى الكون كيف نشأت وأين توجد**

جماعة من العلماء الأمريكيين
**مبادرة الدفاع الاستراتيجى حرب الفضاء**

د. السيد عليوة
**ادارة الصراعات الدولية**

د. مصطفى عنانى
**الميكروكمبيوتر**

مجموعة من الكتاب اليابانيين القدماء والمحدثين
**مختارات من الأدب اليابانى ( الشعر – الدراما – الحكاية – القصة القصيرة )**

جابرييل باير
**تاريخ ملكية الأراضي في مصر الحديثة**

انطوني دى كرسبنى وكينيث مينوج
**اعلام الفلسفة السياسية المعاصرة**

دوايت سوين
**كتابة السيناريو للسينما**

زافيلسكى ف. س.
**الزمن وقياسه ( من جزء من البليون جزء من الثانية وحتى مليارات السنين )**

مهندس ابراهيم القرضاوى
**اجهزة تكييف الهواء**

بيتر رداى
**الخدمة الاجتماعية والانضباط الاجتماعي**

جوزيف داهموس
**سبعة مؤرخين في العصور الوسطى**

س. م. بورا
**التجربة اليونانية**

د. عاصم محمد رزق
**مراكز الصناعة في مصر الاسلامية**

رونالد . . سمبسون ونورمان د. اندرسون
**العلم والطلاب والمدارس**

د. انور عبد الملك
**الشارع المصرى والفكر**

والت وتيمان روستو
**حوار حول التنمية الاقتصادية**

فرد س. هيس
**تبسيط الكيمياء**

جون لويس بوركهارت
**العادات والتقاليد المصرية من الأمثال الشعبية في عهد محمد على**

الان كاسبيار
**التذوق السينمائى**

سامى عبد المعطى
**التخطيط السياحى فى مصر بين النظرية والتطبيق**

بد هويل وشاندرا ويكراما سينج
**البذور الكونية**

حسين حلمى المهندس
**دراما الشاشه ( بين النظرية والتطبيق ) للسينما والتليفزيون ج ٢**

روى روبرتسون
**الهيروين والايدز واثرهما في المجتمع**

دور كاس ماكليتوك
**صور افريقية . نظرة على حيوانات افريقيا**

هاشم النحاس
**نجيب محفوظ على الشاشه**

د. محمود سرى طه
**الكومبيوتر فى مجالات الحياة**

بيتر لورى
**المخدرات حقائق نفسية**

بوريس فيدوروفيتش سيرجيف
**وظائف الأعضاء في الألف الياء**

ويليام بينز
**الهندسة الوراثية للجميع**

ديفيد الدرتون
**تربية اسماك الزينة**

أحمد محمد الشنوانى
**كتب غيرت الفكر الانسانى**

جون ر. بورر وميلتون جولدينجر
**الفلسفة وقضايا العصر ٣ ج**

ارنولد توينبى
**الفكر التاريخى عند الاغريق**

د. صالح رضا
**ملامح وقضايا في الفن التشكيلى المعاصر**

م. هـ. كنج واخرون
**التغذية في البلدان النامية**

جورج جاموف
**بداية بلا نهاية**

د. السيد طه السيد ابو سديره
**الحرف والصناعات فى مصر الاسلامية منذ الفتح العربى حتى نهاية العصر الفاطمى**

جاليليو جاليليه
**حوار حول النظامين الرئيسيين للكون ٣ ج**

اريك موريس والان هـ
**الارهاب**

سيرل الدريد
**اخناتون**

ارثر كيستلر
**القبيلة الثالثة عشرة ويهود اليوم**

ب. كوملان
**الأساطير الاغريقية والرومانية**

د. توماس ا. هاريس
**التوافق النفسى ـ تحليل المعاملات الانسانية**

لجنة الترجمة ،
المجلس الأعلى للثقافة
**الدليل البيليوجرافى روائع الآداب العالمية جـ ١**

روى آرمز
**لغة الصورة فى السينما المعاصرة**

ناجاى متشيو
**الثورة الاصلاحية فى اليابان**

بول هاريسون
**العالم الثالث غدا**

ميكائيل ألبى وجيمس لفلوك
**الانقراض الكبير**

ادامز فيليب
**دليل تنظيم المتاحف**

فيكتور مورجان
**تاريخ النقود**

محمد كمال اسماعيل
**التحليل والتوزيع الأوركسترالى**

ابو القاسم الفردوسى
**الشاهنامة ٢ جـ**

بيرتون بورتر
**الحياة الكريمة ٢ جـ**

جاك كرابس جونيور
**كتابة التاريخ فى مصر القرن التاسع عشر**

محمد فؤاد كوبريلى
**قيام الدولة العثمانية**

تونى بار
**التمثيل للسينما والتليفزيون**

تاجور شين ين ـنج وآخرون
**مختارات من الآداب الأسيوية**

ناصر خسرو علوى
**سفرنامة**

نادين جورديمر وجريس اوجو وآخرون
**سقوط المطر وقصص اخرى**

احمد محمد الشنوانى
**كتب غيرت الفكر الانسانى ج ٧**

جان لويس بورى وآخرون
**فى النقد السينمائى الفرنسى**

**العلمانيون فى اوربا**
بول كولز

وريس بير برابر
**صناع الخلود**

زيجموند هبر
**جماليات فن الاخراج**

جوناثان ريلى سميث
**الحملة الصليبية الأولى وفكرة الحروب الصليبية**

الفريد ج. بتلر
**الكنائس القبطية القديمة فى مصر ٢ ج**

ريتشارد شاخت
**رواد الفلسفة الحديثة**

ترانيم زرادشت
**من كتاب الأفستا المقدس**

الحاج يونس المصرى
**رحلات فارتيما**

هربرت شيلر
**الاتصال والهيمنة الثقافية**

برتراند راسل
**السلطة والفرد**

بيتر نيكولز
**السينما الخيالية**

ادوارد ميرى
**عن النقد السينمائى الأمريكى**

نفتالى لويس
**مصر الرومانية**

ستيفن أوزمنت
**التاريخ من شتى جوانبه ٣ج**

مونى براخ وآخرون
**السينما العربية من الخليج الى المحيط**

فانس بكارد
**انهم يصنعون البشر ٢ ج**

جابر محمد الجزار
**ماستريخت**

- ابرار كريم الله
**من هم التتار**

ج س فريزر
**الكاتب الحديث وعالمه ٢ ج**

سوريال عبد الملك
**حديث النهر**
**من روائع الآداب الهنديه**

لوريتو تود
**مدخل الى علم اللغة**

اسحق عظيموف
**الشموس المتفجرة**
**أسرار السوبر نوفا**

مارجريت روز
**ما بعد الحداثة**

د. بيارد دودج
**الأزهر فى الف عام**

ستيفن رانسيمان
**الممالك الصليبية**

هـ. ج. ولز
**معالم تاريخ الانسانية ٤ ج**

جوستاف جرونيباوم
**حضارة الاسلام**

د. عبد الرحمن عبد الله الشيخ
**رحلة بيرتون الى مصر والحجاز ٣ ج**

جلال عبد الفتاح
**الكون ذلك المجهول**

أرنولد جزل وآخرون
**الطفل من الخامسة الى العاشرة ٢ ج**

بادى أونيمود
**أفريقيا - الطريق الآخر**

د. محمد زينهم
**فن الزجاج**

برنسلاو مالينوفسكى
**السحر والعلم والدين**

آدم متز
**الحضارة الاسلامية**

فانس بكارد
**انهم يصنعون البشر**

د. عبد الرحمن عبد الله الشيخ
**يوميات رحلة فاسكو داجاما**

ايفرى شاتزمان
**كوننا المتمدد**

سوندارى
**الفلسفة الجوهرية**

مارتن فان كريفلد
**حرب المستقبل**

فرانسيس ج. برجين
**الاعلام التطبيقى**

عبده مباشر
**البحرية المصرية من محمد على للسادات**

ج. كارنيل
**تبسيط المفاهيم الهندسية**

توماس ليبهارت
**فن المايم والبانتوميم**

ادوارد دوبونو
**التفكير المتجدد**

ويليام هـ. ماثيو
**ما هى الجيولوجيا**

كريستيان ساليه
**السيناريو فى السينما الفرنسية**

بول وارن
**خفايا نظام النجم الأمريكى**

جورج ستاينر
**بين تولستوى ودوستويفسكى ٢ ج**

يانكو لافرين
**رومانتيكية والواقعية**

محمود سامى عطا الله
**الفيلم التسجيلى**

جوزيف بتس
**رحلة جوزيف بتس**

ستانلى جيه سولومون
**انواع الفيلم الأميركى**

هارى ب. ناش
**الحمر والبيض والسود**

جوزيف م. بوجز
**فن الفرجة على الأفلام**

كريستيان ديروش نوبلكور
**المرأة الفرعونية**

جوزيف بندهام
**موجز تاريخ العلم والحضارة فى الصين**

ليوناردو دافنشى
**نظرية التصوير**

ت. ج. هـ. جيمز
**كنوز الفراعنة**

رودولف فون هابسبورج
**رحلة الأمير ردولف الى الشرق ٣ ج**

مالكوم برادبرى
**الرواية اليوم**

وليم مارسدن
**رحلة ماركو بولو ٣ ج**

هنرى بيرين
**تاريخ أوربا فى العصور الوسطى**

ديفيد شنيدر
**نظرية الأدب المعاصر وقراءة الشعر**

اسحق عظيموف
**العلم وآفاق المستقبل**

رونالد داڤيد لانج
**الحكمة والجنون والحماقة**

كارل بوبر
**بحثا عن عالم أفضل**

نورمان كلارك
**الاقتصاد السياسى للعلم والتكنولوجيا**

السيد نصر الدين السيد
**اطـلالات على الزمن الآتى**

ممدوح عطية
**البرنامج النووى الاسرائيلى والأمن القومى العربى**

د. ليوبوسكاليا
**الحب**

ايفور ايفانس
**مجمل تاريخ الادب الانجليزى**

هيربرت ريد
**التربية عن طريق الفن**

وليام بينز
**معجم التكنولوجيا الحيوية**

الفين توفلر
**تحول السلطة ٢ ج**

يوسف شرارة
**مشكلات القرن الحادى والعشرين والعلاقات الدولية**

رولاند جاكسون
**الكيمياء فى خدمة الانسـان**

ت ج. جيمز
**الحياة ايام الفراعنة**

جرج كاشمان
**لماذا تنشب الحروب ٢ ج**

حسـام الدين زكريا
**انطون بروكنر**

ونفرد هولر
**كانت ملكة على مصر**

جيمس هنرى برستد
**تاريخ مصر**

بول دافيز
**الدقائق الثلاث الأخيرة**

جوزيف وهارى فيلدمان
**ديناميه الفيلم**

ج. كونتنو
**الحضارة الفينيقية**

ارنست كاسيرر
**فى المعرفة التاريخية**

كت أ . كتشن
**رمسيس الثانى**

جان بول سارتر وآخرون
**مختارات من المسرح العالمى**

يوزالند ، وجـاك يانسن
**الطفل المصرى القديم**

نيكولاس ماير
**شرلوك هولمز**

ميجيل دى ليبس
**الفئران**

جوسيبى دى لونا
**موسولينى**

لويز جرايت
**موتسارت**

روبرت سكولز وآخرون
**آفاق أدب الخيال العلمى**

ب. س ديفيز
**المفهوم الحديث للمـكان والزمان**

س. هوارد
**اشهر الرحـلات الى غرب افريقيـا**

و. بارتولد
**تاريخ الترك فى آسيا الوسطى**

فلاديميـر تيمانيـانو
**تاريخ اوربا الشرقية**

جابرييل جاجارسيا ماركيز
**الجنرال فى المتـاهة**

هنرى برجسون
**الضـحك**

د. مصطفى محمود سليمان
**الزلزال**

م. و. ثرنج
**ضمير المهندس**

ا. ر. جرنى
**الحيثيون**

ستينو موسـكاتى
**الحضـارات السامية**

د. البرت حورانى
**تاريخ الشعوب العربية**

---

**مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب**

رقم الايداع بدار الكتب ١٣٨٣٢/١٩٩٨

ISBN — 977 — 01 — 5940 — 9



تهدف الهيئة المصرية العامة للكتاب من مشروع الألف كتاب الثـــاني إلى مواصلة مسيرة المشروع الأول بتكوين مكتبة متكاملة للقـــارئ العربي في شتى جوانب المعرفة عن طريق الترجمة والتأليف. وفـــي هذا الإطار يبدي المشروع اهتماماً كبيراً بالكتب العلمية والمستقبلية، وقد أصدر حتى الآن ٢٩ كتاباً في هذا المجال، من أهمها:

ب. ديفيز، المفهوم الحديث للزمان والمكان
ادوارد فايجينبام، الجيل الخامس للحاسوب
اسحق عظيموف، العلم وآفاق المستقبل
بول ديفيز، الدقائق الثلاث الأخيرة
(انظر القائمة المفصلة داخل الكتاب)

ويضم هذا الكتاب ستة عشر مقالاً علمياً تغطي الأفكار الأساسية للعلم في أهم مجالاته: الفيزياء والكيمياء والبيولوجيا. كما يعرض المؤلف في أسلوب يسير سلس للعديد من المفاهيم العلميـــة الحديثـــة التـــي عدلت من الكثير من مسلمات الإنسان القديمة التي ألفها على مـــدى تاريخه، كفكرته عن الزمان والمكان والمادة والطاقة، وغـــير ذلـــك. والكتاب بهذا يضع قاعدة راسخة لكل من أراد متابعة الفكر العلمـــي في ثوبه الحديث.

٥٧٥ قـــرشـــاً
مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب